

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA
INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIEROS MECÁNICOS

TEMA
ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA CORROSIÓN EN LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DEL PERFIL G 100X50X15X2 PARA CORREAS DE TECHOS

AUTORES
ALMACHE MANOBANDA EDWIN FERNANDO
CANTUÑA LLUMIQUINGA BYRON DAVID

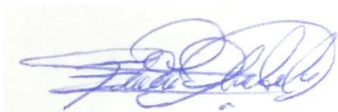
TUTOR
ING. CHRISTIAN ALEXANDER ANRANGO MEDINA M.Sc., M.E.R.

Quito, enero 2018

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Edwin Fernando Almache Manobanda con documento de identificación N° 1724443823 y Byron David Cantuña Llumiquinga con documento de identificación N° 1722669528, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo titulación intitulado: “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA CORROSIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PERFIL G 100X50X15X2 PARA CORREAS DE TECHOS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra consideración de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Edwin Fernando Almache Manobanda

C.I.: 1724443823



Byron David Cantuña Llumiquinga

C.I.:1722669528

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA CORROSIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PERFIL G 100X50X15X2 PARA CORREAS DE TECHOS realizado por Edwin Fernando Almache Manobanda y Byron David Cantuña Llumiquinga, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre 2017

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and strokes, positioned above a horizontal dotted line.

Ing. Christian Alexander Anrango Medina M.Sc., M.E.R.

C.I.: 1714585237

Dedicatoria

A mi padre Gerardo, a mi madre Elisa a mi hermana Tania que han sido parte fundamental para no darme por vencido, motivándome a alcanzar este sueño y gracias a su apoyo incondicional puedo culminar mi carrera universitaria.

Byron David Cantuña Llumiquinga

Al Omnipotente y Eterno Dios, por darme la vida, a mi esposa Maribel y mi hijo Isaac por el apoyo y comprensión incondicional a lo largo de mi carrera universitaria y por último a mi madre Martha Fabiola, cada una de sus palabras ha influenciado positivamente en mi vida. Sus consejos no han quedado en el aire, ahora se ven reflejados en los logros de mis objetivos.

Edwin Fernando Almaché Manobanda

Agradecimientos

De manera especial al director del proyecto Ing. Christian Anrango por la valiosa ayuda que nos brindó al desarrollo del presente trabajo, gracias a su predisposición, dedicación y esfuerzo los cuales fueron fundamentales.

Byron David Cantuña Llumiquinga

Manifestar mi profunda gratitud al Ing. Christian Anrango, tutor del presente trabajo, sin su intervención el proyecto no hubiera llegado a su fin.

Edwin Fernando Almache Manobanda

Índice

CAPÍTULO 1	21
MARCO TEÓRICO	21
1.1. Acero	21
1.1.1. Aceros al Carbón y de Baja Aleación	21
1.1.2. Perfiles de acero	21
1.1.3. Perfiles de pared delgada doblados en frío	22
1.1.4. Aceros modernos para estructuras	22
1.2. Perfil G	22
1.2.1. Catálogos de perfilaría tipo G de la industria nacional	23
1.2.1.1. Catálogo NOVACERO	23
1.2.1.2. Catálogo DIPAC	24
1.2.1.3. Catálogo de IPAC	25
1.2.2. Norma INEN para perfiles abiertos de acero conformados en frío negros o galvanizados para uso estructural	27
1.2.2.1. Objetivo	27
1.2.2.2. Campo de aplicación	27
1.2.2.3. Clasificación	27
1.3. Corrosión	28
1.3.1. Historia de la corrosión	28
1.3.2. Tipos de corrosión	29
1.3.2.1. Corrosión uniforme o general	29
1.3.2.2. Corrosión de dos metales o galvánica	29
1.3.2.3. Corrosión por picadura	32
1.3.2.4. Corrosión por erosión	32
1.3.3. Impactos de la corrosión	32

1.3.4.	Monitoreo de corrosión.....	33
1.3.4.1.	Métodos de Inspección Visual.....	33
1.3.4.2.	Radiografía (Rayos-X).....	33
1.3.4.3.	Ultrasonido.....	33
1.3.4.4.	Electromagnético	33
1.3.4.5.	Métodos Electroquímicos	34
1.3.4.6.	Depósitos	34
1.3.5.	Prevención contra la corrosión.....	34
1.3.5.1.	Preparación Superficial.....	35
1.3.5.2.	Mecanismos de Protección	36
1.3.5.3.	Predicción y Medición	37
1.4.	Recubrimientos.....	37
1.4.1.	Aplicación de Recubrimientos	38
1.4.2.	Recubrimientos Protectores	38
1.4.3.	Pintura	38
CAPÍTULO II		40
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....		40
2.1.	Materiales y equipos.....	40
2.2.	Características de los equipos.....	40
2.2.1.	Máquina universal de ensayos de la Universidad Politécnica Salesiana ...	40
2.2.2.	Máquina universal de ensayos de la Escuela Politécnica Nacional	41
2.2.3.	Microscopio Metalográfico de la Universidad Politécnica Salesiana	44
2.2.4.	Espectrofotómetro de la Universidad Politécnica Salesiana	45
2.2.5.	Balanza electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana	45
2.3.	Metodología usada para el desarrollo de la experimentación	46

2.3.1. Dimensionamiento y preparación de las probetas para la universal de la Universidad Politécnica Salesiana	46
2.3.2. Dimensionamiento y preparación de las probetas para la máquina universal de la Escuela Politécnica Nacional	48
2.3.3. Preparación de la salmuera.....	49
2.3.4. Sumergir las probetas en la salmuera.....	50
2.3.5. Preparación de los ensayos a flexión en la Universidad Politécnica Salesiana	51
2.3.6. Preparación de los ensayos a flexión en el Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional	55
2.3.7. Identificación de los daños que sufren las probetas sometidas en salmuera mediante el microscopio metalográfico del laboratorio de metalografía de la Universidad Politécnica Salesiana	58
2.3.8. Verificación del cambio de masa en probetas sometidas a corrosión.	60
2.3.9. Determinación de algún cambio en la composición química del perfil G antes y después de haber sido sometido a corrosión acelerada.....	61
CAPÍTULO III.....	64
ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
3.1.1. Examen metalográfico de las probetas sumergidas 3 días en salmuera.....	64
3.1.2. Examen metalográfico de las probetas sumergidas 7 días en salmuera.....	66
3.1.3. Examen metalográfico de las probetas sumergidas 14 días en salmuera...	68
3.1.4. Examen metalográfico de las probetas sumergidas 21 días en salmuera...	70
3.2. Curvas carga deformación obtenidas en la máquina universal de la Universidad Politécnica Salesiana	72
3.2.1. Diagramas carga deformación obtenidas a los 3 días	72
3.2.2. Diagramas carga deformación obtenidas a los 7 días	75

3.3. Curvas carga deformación obtenidas en la máquina universal de la Escuela Politécnica Nacional.....	77
3.3.1. Diagrama carga deformación obtenidas a los 3 días	77
3.3.2. Diagramas carga deformación obtenidas a los 7 días	80
3.3.3. Diagramas carga deformación obtenidas a los 14 días	82
3.3.4. Diagramas carga deformación obtenidas a los 21 días	84
3.4. Masas de las probetas del perfil G para correas de techos.....	88
3.4.1. Masa de las probetas sumergidas a los 3 días	88
3.4.2. Masa de las probetas sumergidas a los 7 días	88
3.4.3. Masa de las probetas sumergidas a los 14 días	89
3.4.4. Masa de las probetas sumergidas a los 21 días	89
3.5. Composición química de una correa G de fabricación ecuatoriana	90
3.5.1. Composición química de la probeta antes de ser sometida a envejecimiento	90
3.5.2. Composición química de la probeta sumergida en salmuera 21 días.....	92
3.6. Análisis de costo beneficio de la utilización de recubrimientos anticorrosivos	93
3.7. Análisis de costo beneficio entre los recubrimientos anticorrosivos.....	94
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES.....	97
REFERENCIAS	99
ANEXOS.....	101

Lista de Tablas

Tabla 1. Especificaciones Generales del perfil G en NOVACERO. [7]	23
Tabla 2. Especificaciones Generales del perfil G en DIPAC. [8]	24
Tabla 3. Especificaciones Generales del perfil G en IPAC. [9]	26
Tabla 4. Cambio en peso (en gramos) de acero y zinc acoplados y desacoplados. [12].	30
Tabla 5. Serie galvánica para el agua de mar. [15]	31
Tabla 6. Métodos de Preparación Superficial y Estándar. [2].....	35
Tabla 7. Materiales y equipos usados en la investigación	40
Tabla 8. Porcentaje de la salmuera artificial	50
Tabla 9. Rate of increase in net deflection	53
Tabla 10. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 3 días.....	74
Tabla 11. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 7 días.....	77
Tabla 12. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 3 días.....	79
Tabla 13. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 7 días.....	82
Tabla 14. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 14 días.....	84
Tabla 15. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 21 días.....	86
Tabla 16. Proyección a 49 días de envejecimiento acelerado	86
Tabla 17. Masa de las probetas a los 3 días en salmuera	88
Tabla 18. Masa de las probetas a los 7 días en salmuera	89
Tabla 19. Masa de las probetas a los 14 días en salmuera	89
Tabla 20. Masa de las probetas a los 21 días en salmuera	90
Tabla 21. Composición química de un perfil G para correas de techos.....	91
Tabla 22. Composición química de un perfil G para correas de techos sumergida 21 días en salmuera.....	92
Tabla 23. Ahorro mínimo y máximo del control de la corrosión.....	93
Tabla 24. Especificaciones del Anticorrosivo Unidas	94
Tabla 25. Especificaciones del Bate piedra Cóndor.....	94

Lista de Figuras

Figura 1. Especificaciones Técnicas NOVACERO. [7]	24
Figura 2. Especificaciones Técnicas DIPAC. [8]	25
Figura 3. Especificaciones Técnicas IPAC. [9]	26
Figura 4 Máquina universal para ensayos de la UPS	41
Figura 5. Máquina universal de la Escuela Politécnica Nacional	42
Figura 6. Sistema para aplicar la carga	42
Figura 7. Bomba hidráulica ZE5.....	43
Figura 8. LVDTs – HBM con desplazamiento de palpador de 200mm	43
Figura 9. Sistema UPM HBM de 80 canales	44
Figura 10. Microscopio Metalográfico de la Universidad Politécnica Salesiana	44
Figura 11. Espectrofotómetro de la Universidad Politécnica Salesiana	45
Figura 12. Balanza electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana.....	45
Figura 13. Verificación de la distancia entre apoyos.	47
Figura 14. Corte de probetas para ensayos a flexión	47
Figura 15. Pinturas (izquierda) pintura anticorrosiva, (derecha) recubrimiento bate piedra.....	48
Figura 16. Probetas aplicadas pintura anticorrosiva y bate piedra.....	48
Figura 17. Verificación de la Máquina universal de la Escuela Politécnica Nacional ...	49
Figura 18. Prueba para medir el PH del agua	50
Figura 19. Probetas sumergidas en la salmuera	51
Figura 20. Instrumentos (a) apoyos para la probeta, (b) celda de carga, (c) apoyo de carga	52
Figura 21. Máquina universal preparada para ensayo a flexión	52
Figura 22. Posición de la probeta (a) Forma vertical de la probeta (b) Forma horizontal de la probeta	53
Figura 23. Curva Carga Vs. Deformación obtenida por el software.....	54
Figura 24. Ensayos a flexión en probetas (izquierda) sin pintura (centro) con Bate piedra (derecha) con anticorrosivo.....	54
Figura 25. Verificación de los pernos de los soportes de la máquina universal de la EPN	55

Figura 26. Cambio de ubicación del cilindro de doble efecto de la máquina universal de la EPN	56
Figura 27. Adecuación de los ensayos a flexión en la máquina Universal	56
Figura 28. Comprobación de paralelismo y perpendicularidad del LVDTs – HBM con la probeta y la celda de carga	57
Figura 29. Prueba de flexión realizada en la máquina Universal.....	58
Figura 30. Muestras de las probetas sometidas a corrosión	59
Figura 31. Obtención de los cambios de la microestructura en las probetas.	59
Figura 32. Toma de datos en la balanza electrónica (a) probeta no pintada (b) probeta pintada con bate piedra (c) probeta pintada con anticorrosivo	60
Figura 33. Bomba de vacío	61
Figura 34. Kit de limpieza para muestras	62
Figura 35. Muestra lista para ensayo en el espectrofotómetro.....	62
Figura 36. Limpieza del electrodo de pruebas	63
Figura 37. Probetas después de la prueba en el espectrofotómetro	63
Figura 38. Examen metalográfico de una probeta del perfil G	64
Figura 39. Examen metalográfico de una probeta del perfil G sin protección a los 3 días.	65
Figura 40. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con pintura a los 3 días	65
Figura 41. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con bate piedra a los 3 días.....	66
Figura 42. Examen metalográfico de una probeta del perfil G sin protección a los 7 días	67
Figura 43. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con pintura a los 7 días	67
Figura 44. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con bate piedra a los 7 días.....	68
Figura 45. Examen metalográfico de una probeta del perfil G sin protección a los 14 días	69

Figura 46. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con pintura a los 14 días	69
Figura 47. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con bate piedra a los 14 días.....	70
Figura 48. Examen metalográfico de una probeta del perfil G sin protección a los 21 días	71
Figura 49. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con pintura a los 21 días	71
Figura 50. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con bate piedra a los 21 días.....	72
Figura 51. Deflexión de la probeta sumergida por tres 3 sin anticorrosivos	73
Figura 52. Deflexión de la probeta sumergida por 3 días aplicada pintura anticorrosiva	73
Figura 53. Deflexión de la probeta sumergida por 3 días aplicada bate piedra	74
Figura 54. Deflexión de la probeta sumergida por tres 7 sin anticorrosivos	75
Figura 55. Deflexión de la probeta sumergida por 7 días aplicada pintura anticorrosiva	76
Figura 56. Deflexión de la probeta sumergida por 7 días aplicada bate piedra	76
Figura 57. Deflexión de la probeta sumergida por 3 días sin anticorrosivos.....	78
Figura 58. Deflexión de la probeta sumergida por 3 días aplicada pintura anticorrosiva	78
Figura 59. Deflexión de la probeta sumergida por 3 días aplicada bate piedra	79
Figura 60. Deflexión de la probeta sumergida por 7 días sin anticorrosivos.....	80
Figura 61. Deflexión de la probeta sumergida por 7 días aplicada pintura anticorrosiva	81
Figura 62. Deflexión de la probeta sumergida por 7 días aplicada bate piedra	81
Figura 63. Deflexión de la probeta sumergida por 14 días sin anticorrosivos.....	82
Figura 64. Deflexión de la probeta sumergida por 14 días aplicada pintura anticorrosiva	83
Figura 65. Deflexión de la probeta sumergida por 14 días aplicada bate piedra	83
Figura 66. Deflexión de la probeta sumergida por 21 días sin anticorrosivos.....	84

Figura 67. Deflexión de la probeta sumergida por 21 días aplicada pintura anticorrosiva	85
Figura 68. Deflexión de la probeta sumergida por 21 días aplicada bate piedra	85
Figura 69. Comparación de los resultados proyectados a 49 días de envejecimiento acelerado	87

Índice de ecuaciones

Ec. 1 Curva polinómica del Bate piedra	87
Ec. 2 Curva polinómica de la pintura anticorrosiva.....	87
Ec. 3 Curva polinómica sin pintura anticorrosiva.....	88

Glosario

ASD: Diseño por Tensiones Admisibles

ASTM: American Society of Testing Materials

CDIV: Centro de Investigación de la Vivienda

DIN: Instituto Alemán de Normalización

EPN: Escuela Politécnica Nacional

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

LRFD: Diseño por Factores de Carga y Resistencia

N: Newton

NACE: National Association of Corrosion Engineers

mm: Milímetros

s: Segundos

SAE: Society of Automotive Engineers

UPS: Universidad Politécnica Salesiana

F_v: Límite de fluencia (mínimo)

RESUMEN

El presente proyecto consiste en determinar la influencia de la corrosión en las propiedades mecánicas del perfil G 100X50X15X2 utilizadas para correas de techo, esta investigación permite comprender la importancia del uso de los anticorrosivos en los perfiles estructurales.

La investigación está compuesta de la siguiente manera:

En el capítulo uno se describen las diferentes empresas nacionales que fabrican los perfiles tipo G y los usos más comunes de estos, las definiciones y tipos de corrosión, las formas de evitar el deterioro del material y los recubrimientos comúnmente utilizados en la industria nacional.

El capítulo dos describe la metodología experimental, los diferentes tipos de materiales, equipos y normas estándares utilizadas para realizar y analizar de mejor manera los cambios producidos por la corrosión en los perfiles.

El tercer capítulo da a conocer el análisis de los resultados que arrojaron los equipos experimentales como: la máquina universal de ensayos, el microscopio metalúrgico y el espectrofotómetro. Se puede apreciar en cada uno de los experimentos que a los 21 días de envejecimiento acelerado el recubrimiento bate piedra fue el más eficiente a la hora de combatir la corrosión, además la evaluación del beneficio económico de usar anticorrosivos en los perfiles G para correas de techos.

Palabras claves: perfil G, corrosión, envejecimiento acelerado, flexión, máquina universal de ensayos, microscopio metalúrgico, espectrofotómetro, recubrimientos anticorrosivos.

Abstract

The present project consists of determining the influence of corrosion in the mechanical properties of profile G 100X50X15X2 used for roof beams, this investigation allows to understand the importance of the use of anticorrosives in the structural profiles.

The research is composed of the following:

Chapter one describes the different national companies that manufacture the G -type profiles and their most common uses, definitions and types of corrosion, ways to avoid deterioration of the material and coatings commonly used in national industry.

Chapter two describes the experimental theory, the different types of materials, equipment and standards used to perform and analyze in the best way the changes produced by the corrosion of the profiles.

Chapter three provides an analysis of the results of the experimental equipment such as: universal testing machine, metallurgical microphoto and spectrophotometer. It can be seen in each of the experiments that at 21 days of accelerated aging the stone bate coating was the most efficient in combating corrosion, as well as the evaluation of the economic benefit of using anticorrosives in the profiles G for roof straps.

Keywords : profile G, corrosion, aging accelerated, flexion, Universal Metallurgical testing machine, microscope, spectrophotometer, anticorrosive coatings.

Introducción

El mercado del acero nacional a lo largo de los años ha ido creciendo significativamente, de la mano también las construcciones industriales y civiles, estas han optado por utilizar para sus proyectos perfiles estructurales de diferentes formas.

En el proceso de montaje de las estructuras resulta imposible obviar el tema de la corrosión, este es el inconveniente más grande pero no imposible de controlar, evitándose mediante diferentes tipos de recubrimientos. El problema principal recae en que algunas personas piensan que la corrosión no afecta sustancialmente al material creyendo que este puede resistir lo mismo que un perfil sin afectación.

Es por eso que a través de esta investigación pionera se busca determinar la influencia de la corrosión en las propiedades mecánicas del perfil Tipo G 100X50X15X2 para correas de techos, mediante un análisis comparativo de 40 probetas de este perfil estructural pintadas con diferentes anticorrosivos y puestas a envejecimiento acelerado bajo las normas ASTM B117 – 16 y ASTM G31 – 12, para luego las mismas someterlas un análisis en la máquina universal de ensayos, microscopio metalúrgico y el espectrofotómetro para así poder comprender la importancia del uso de los anticorrosivos en los perfiles estructurales y el costo beneficio que conlleva utilizarlos en un proyecto estructural.

Objetivos

Objetivo general

Determinar la influencia de la corrosión en las propiedades mecánicas del perfil G 100X50X15X2 para correas de techo.

Objetivos específicos

- Determinar el cambio de la resistencia a la flexión, en el perfil G 100X50X15X2 sometiéndolas a envejecimiento.
- Realizar el estudio comparativo para conocer la importancia de los anticorrosivos en los perfiles de acero.
- Diseñar el proceso de envejecimiento acelerado en el perfil G 100X50X15X2 a 3, 7, 14 y 21 días.
- Analizar los resultados de las pruebas de laboratorio entre los perfiles G sometidos a envejecimiento.
- Evaluar el costo beneficio de la aplicación de anticorrosivos en los perfiles G para correas de techos.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1.Acero

El acero es un hierro, que si se encuentra a una temperatura elevada y se lo somete a un enfriamiento lento adquiere las propiedades de un hierro dulce pero si al contrario se le da un enfriamiento rápido se conseguirá un temple y producto de esto una dureza suficientemente capaz para deformar cualquier cuerpo duro [1].

1.1.1. Aceros al Carbón y de Baja Aleación

Los aceros de baja aleación y al carbono son los materiales más empleados en la ingeniería, ya que son baratos y vienen en una gran gama de tamaños y formas además de excelentes propiedades mecánicas. Con ciertos tratamientos térmicos los aceros son utilizados en aplicaciones concretas [2].

Como menciona Neely [3], para que la aleación llamada acero adquiriera las propiedades antes mencionadas en función de la temperatura debe ser combinada con otros metales como molibdeno, cromo, vanadio, níquel, titanio, tungsteno y con algunos no metales que pueden ser el silicio y el boro.

1.1.2. Perfiles de acero

Los perfiles estructurales de acero aparecieron por primera vez en los Estados Unidos según McCormac [4], en el año de 1819, en diferentes formas las cuales fueron de ángulos de hierro laminado y vigas “I” de acero laminado. Los perfiles de acero usualmente se rolan en una amplia variedad de formas y tamaños, pero esto no causa cambios apreciables en las propiedades físicas.

1.1.3. Perfiles de pared delgada doblados en frío

Estos perfiles se elaboran doblando hojas delgadas de acero al carbono o de baja aleación, las aplicaciones más comunes son en techos, paredes y pisos, en un rango de espesores entre 0,01 pulgadas a 0,25 pulgadas [4].

AISI emplea el diseño de partes estructurales conformados en frío a partir de planchas, láminas y algunos tipos de barras de acero estas pueden ser, tanto de baja aleación como aceros al carbono, para espesores no mayores de 1 pulgada. Se diseñará de acuerdo con los requisitos (LRFD) Diseño por Factores de Carga y Resistencia o a su vez (ASD) Diseño por Tensiones Admisibles los dos altamente confiables [5].

1.1.4. Aceros modernos para estructuras

McCormac [4], menciona que las propiedades del acero pueden ser mejoradas modificando cierto porcentaje de los elementos aleados. En los aceros se debe mejorar su composición química para así potenciar las propiedades tales como la resistencia a la corrosión, resistencia a la fractura y adiciona una mayor soldabilidad.

1.2. Perfil G

Los perfiles metálicos G son el componente constructivo donde va apoyada la chapa o panel y que funcionará como cubierta para un edificio o cuerpo estructural, estos perfiles se usan en obras, teniendo en cuenta la sobrecarga y las luces de un diseño preestablecido [6].

Los usos y aplicaciones más comunes para este tipo de correa metálica son: las vigas, las viguetas, las columnas, las estructuras para cubiertas y los muebles metálicos [7].

Según DIPAC [8], la correa del tipo “G”, se fabrica con la norma NTE INEN 1623; Calidad ASTM A36 - SAE J 403 1008; su presentación es en Galvanizado y Acero Negro,

en espesores de 2 mm hasta 12 mm y longitud de 6 metros estándar. Las correas G pueden emplearse para diferentes aplicaciones tales como armado de estructuras, también se pueden usar como columnas y vigas.

1.2.1. Catálogos de perfilaría tipo G de la industria nacional

A continuación, se colocan tablas de las especificaciones técnicas de los perfiles de tipo G conformados en frío de algunas industrias ecuatorianas que ofrecen este producto, estas pueden ser visualizadas en la página web de la empresa respectiva.

1.2.1.1. Catálogo NOVACERO

NOVACERO [7], fundada en el año de 1973, cuenta con dos plantas industriales ubicadas en Quito y Latacunga, donde se fabrican una variedad extensa de productos como ángulos, platinas, tuberías y perfiles.

Tabla 1. Especificaciones Generales del perfil G en NOVACERO. [7]

Norma técnica	Longitud	Tolerancia
		Longitud=-0mm+40mm
NTE INEN 1623	6m	Espesor= $\pm 5\%$ del espesor nominal
		Fv=250 MPA

Especificaciones técnicas

Denominación	Dimensiones				Peso		Área
	h	b	c	e	kg/m	kg/6m	cm ²
	mm	mm	mm	mm			
CG	60	30	10	1.50	1.49	8.96	1.82
CG	60	30	10	1.80	1.79	10.74	2.26
CG	60	30	10	2.00	1.99	11.94	2.50
CG	80	40	15	1.50	2.09	12.56	2.52
CG	80	40	15	1.80	2.50	15.01	3.16
CG	80	40	15	2.00	2.78	16.66	3.54
CG	80	40	15	3.00	4.01	24.06	5.11
CG	100	50	15	1.80	2.97	17.80	3.88
CG	100	50	15	2.00	3.41	20.43	4.34
CG	100	50	15	3.00	4.95	29.71	6.31
CG	125	50	15	2.00	3.80	22.80	4.84
CG	125	50	15	3.00	5.54	33.24	7.06
CG	150	50	15	2.00	4.19	25.14	5.34
CG	150	50	15	3.00	6.13	36.78	7.81
CG	200	50	15	2.00	4.98	29.85	6.34
CG	200	50	15	3.00	7.31	43.84	9.31

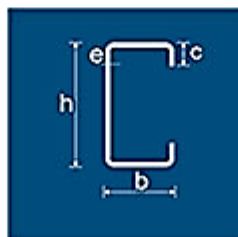


Figura 1. Especificaciones Técnicas NOVACERO. [7]

1.2.1.2. Catálogo DIPAC

DIPAC, desde 1978 distribuye productos al mercado nacional tales como: tuberías, galvanizados, perfiles, laminado en caliente y laminado en frío [8].

Tabla 2. Especificaciones Generales del perfil G en DIPAC. [8]

Largo	Espesores	Acabado
6m	Desde 1,5 mm hasta 12 mm	Natural

Designación	Dimensiones				Masa	A	d	Momento de inercia		Módulo resistente		Radio de giro	
	h	d	c	e				ix	ly	Wx	Wy	ix	ly
	mm	mm	mm	mm				cm4	cm4	cm3	cm3	cm	cm
G 60x30x10x2	60	30	10	2	1,96	2,54	1,44	14,88	5,28	4,9	2,74	2,42	1,44
G 80x40x15x2	80	40	15	2	2,75	3,54	1,46	35,25	8,07	8,81	3,18	3,16	1,51
G 80x40x15x3	80	40	15	3	3,95	5,11	1,46	49,04	10,85	12,26	4,27	3,1	1,46
G 80x50x15x2	80	50	15	2	3,06	3,88	1,46	41,11	13,55	10,28	4,34	3,23	1,88
G100x50x15x2	100	50	15	2	3,38	4,34	1,73	69,24	14,98	13,85	4,57	4,00	1,86
G100x50x15x3	100	50	15	3	4,89	6,31	1,72	97,78	20,51	19,56	6,25	3,94	1,8
G100x50x15x4	100	50	15	4	6,29	8,15	1,71	122,5	24,85	24,49	7,55	3,88	1,75
G100x50x20x4	100	50	20	4	6,60	8,55	1,85	126,7	28,5	25,34	9,05	3,85	1,83
G100x50x25x5	100	50	25	5	8,35	10,86	1,98	152,51	36,52	30,5	12,09	3,75	1,83
G125x50x15x2	125	50	15	2	3,77	4,84	1,56	116,4	16,16	18,63	4,69	4,91	1,83
G125x50x15x3	125	50	15	3	5,48	7,06	1,55	165,5	22,16	26,48	6,43	4,84	1,77
G125x50x15x4	125	50	15	4	7,07	9,15	1,54	208,7	26,88	33,39	7,78	4,78	1,71
G125x50x15x5	125	50	15	5	8,55	11,11	1,54	246,2	30,41	39,39	8,78	4,71	1,65
G125x50x50x4	125	50	20	4	7,39	9,55	1,68	217	30,9	34,7	9,32	4,77	1,8
G125x50x25x5	125	50	25	5	9,33	12,11	1,8	264,3	39,88	42,29	12,46	4,67	1,82
G125x50x30x6	125	50	30	6	11,32	14,73	1,92	307,1	48,69	49,14	15,81	4,56	1,81
G150x50x15x2	150	50	15	2	4,16	5,34	1,42	178,7	17,13	23,83	4,78	5,79	1,79
G150x50x15x3	150	50	15	3	6,07	7,81	1,42	255,2	23,49	34,03	6,56	5,72	1,73
G150x50x15x4	150	50	15	4	7,86	10,15	1,41	323,5	28,51	43,13	7,95	5,65	1,68
G150x50x15x5	150	50	15	5	9,53	12,36	1,41	383,6	32,27	51,15	8,98	5,57	1,62

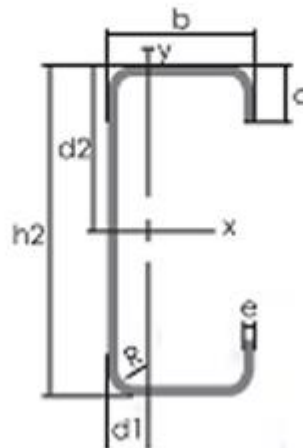


Figura 2. Especificaciones Técnicas DIPAC. [8]

1.2.1.3.Catálogo de IPAC

IPAC empresa fundada en 1972 produjo al inicio perfiles de acero, para posteriormente ampliarse con planchas tubos entre otros productos y hoy en día cuentan con más de 30 productos para satisfacer al mercado nacional e internacional [9].

Tabla 3. Especificaciones Generales del perfil G en IPAC. [9]

Longitud	Recubrimiento	Calidad de acero	Norma de fabricaciones	Espesores
	Negro o	ASTM A36	NTE INEN	Desde 1,50 a
6m	galvánico	ASTM A 572 Gr. 50	1623	4,00 mm

Designaciones			Espesor	Peso		Área	Propiedades Estáticas						
							Eje x-x			Eje y-y			Distancia de eje menor y superior
							Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	
H	B	c	e	P	P	A	I	W	i	I	W	i	X
mm	mm	mm	mm	kg/m	kg/6m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
60	30	10	1,40	1,44	8,62	1,83	10,38	3,46	2,38	2,30	1,19	1,12	1,06
			1,50	1,53	9,19	1,95	11,01	3,67	2,38	2,43	1,25	1,11	1,06
			1,80	1,81	10,87	2,31	12,83	4,28	2,36	2,78	1,43	1,10	1,06
			2,00	1,99	11,95	2,54	13,96	4,65	2,35	3,00	1,55	1,09	1,06
			2,50	2,42	14,55	3,09	16,57	5,52	2,32	3,47	1,78	1,06	1,05
			3,00	2,83	16,99	3,61	18,84	6,28	2,29	3,84	1,97	1,03	1,05
80	40	15	1,40	1,99	11,92	2,53	25,78	6,44	3,19	6,02	2,37	1,54	1,47
			1,50	2,12	12,73	2,70	27,42	6,85	3,19	6,38	2,52	1,54	1,47
			1,80	2,52	15,10	3,21	32,20	8,05	3,17	7,42	2,93	1,52	1,46
			2,00	2,78	16,66	3,54	35,25	8,81	3,16	8,07	3,18	1,51	1,46
			2,50	3,41	20,44	4,34	42,46	10,61	3,13	9,56	3,76	1,48	1,46
			3,00	4,01	24,06	5,11	49,05	12,26	3,10	10,85	4,27	1,46	1,46
100	50	15	1,50	2,59	15,55	3,30	53,48	10,70	4,02	11,74	3,59	1,89	1,73
			1,80	3,08	18,50	3,93	63,06	12,61	4,01	13,72	4,19	1,87	1,73
			2,00	3,40	20,43	4,34	69,24	13,85	4,00	14,98	4,57	1,86	1,73
			2,50	4,19	25,15	5,34	84,01	16,80	3,97	17,90	5,46	1,83	1,72
			3,00	4,95	29,71	6,31	97,79	19,56	3,94	20,52	6,25	1,80	1,72
		25	4,00	7,02	42,14	8,95	129,74	25,95	3,81	31,81	10,55	1,89	1,99
120	60	15	1,50	3,06	18,38	3,90	92,05	15,34	4,86	19,36	4,83	2,23	1,99
			2,00	4,03	24,20	5,14	119,75	19,96	4,83	24,86	6,19	2,20	1,98
			2,50	4,98	29,86	6,34	145,99	24,33	4,80	29,89	7,44	2,17	1,98
			3,00	5,89	35,36	7,51	170,79	28,47	4,77	34,48	8,57	2,14	1,98
		25	4,00	8,28	49,68	10,55	229,04	38,17	4,66	53,23	14,22	2,25	2,26
		15	1,50	2,89	17,32	3,68	89,64	14,34	4,94	12,66	3,68	1,86	1,56
125	50	15	2,00	3,80	22,78	4,84	116,42	18,63	4,91	16,16	4,70	1,83	1,56
			2,50	4,68	28,09	5,96	141,70	22,67	4,87	19,33	5,61	1,80	1,55
			3,00	5,54	33,24	7,06	165,49	26,48	4,84	22,16	6,43	1,77	1,55
		25	4,00	7,81	46,85	9,95	223,21	35,71	4,74	34,68	10,86	1,87	1,81
		15	1,50	3,18	19,09	4,05	137,29	18,31	5,82	13,41	3,75	1,82	1,42
		2,00	4,19	25,14	5,34	178,72	23,83	5,79	17,13	4,79	4,79	1,79	1,42
150	50	15	2,50	5,17	31,03	6,59	218,04	29,07	5,75	20,48	5,72	1,76	1,42
			3,00	6,13	36,78	7,81	255,25	34,03	5,72	23,49	6,56	1,73	1,42
		25	4,00	8,59	51,56	10,95	347,77	46,37	5,64	37,03	11,08	1,84	1,66
		15	1,50	3,53	21,20	4,50	178,67	22,33	6,30	21,27	4,98	2,17	1,73
		2,00	4,66	27,96	5,94	233,19	29,15	6,27	27,32	6,40	2,14	1,73	1,73
		2,50	5,76	34,57	7,34	285,24	35,65	6,23	32,87	7,69	2,12	1,73	1,73
160	60	15	3,00	6,84	41,02	8,71	334,84	41,85	6,20	37,93	8,87	2,09	1,72
		25	4,00	9,54	57,22	12,15	455,68	56,96	6,12	59,11	14,73	2,21	1,99
		15	2,00	4,97	29,85	6,34	354,94	35,49	7,48	18,60	4,91	1,71	1,21
		2,50	6,15	36,92	7,84	434,46	43,45	7,44	22,24	5,87	1,68	1,21	1,21
		3,00	7,31	43,84	9,31	510,36	51,04	7,40	25,51	6,74	1,66	1,21	1,21
		25	4,00	10,16	60,98	12,95	702,71	70,27	7,37	40,63	11,39	1,77	1,43

Figura 3. Especificaciones Técnicas IPAC. [9]

1.2.2. Norma INEN para perfiles abiertos de acero conformados en frío negros o galvanizados para uso estructural

Esta norma esta creada con la finalidad de que los perfiles conformados en frío estén sujetos a una serie de parámetros para que los productos que se ofrezcan tengan una alta confiabilidad, donde cada uno de ellos tendrá que cumplir los requisitos que la norma INEN 1623 establece como, dimensiones, requisitos mecánicos, requisitos químicos, recubrimientos, apariencia entre otras especificaciones. Después de esto deben ser sometidos a pruebas para constatar que cumplen con la norma [10].

1.2.2.1.Objetivo

El objetivo de la norma INEN 1623 es establecer los requisitos a cumplirse para los aceros conformados en frío [10].

1.2.2.2.Campo de aplicación

La norma aplica para los diferentes perfiles de uso estructural conformados en frío que son fabricados en diferentes materiales como por ejemplo el pre galvanizado y acero al carbono negro [10].

1.2.2.3.Clasificación

Los perfiles conformados en frío se clasifican de acuerdo con su forma de la siguiente manera:

- C (canal)
- L perfil alas iguales
- L perfil alas desiguales
- G, Z (correa)

- Omega
- V (perfil) [10].

1.3. Corrosión

Desde algunos puntos de vista la corrosión puede ser definida en términos generales, por ejemplo, cuando está en un ambiente acuoso se puede decir que es un procedimiento electroquímico. La corrosión en términos más generalizados es la degradación del material causada por un ambiente agresivo. El ambiente corrosivo puede ser agua, aire, dióxido de carbono, líquidos orgánicos, azufre gaseoso, sales fundidas y algunos que no son muy conocidos como luz ultravioleta, los haces de neutrones, los fragmentos de fisión nuclear y la radiación gamma [11].

Según Smith *et al.* [12], corrosión es el deterioro de un material debido al ataque químico que se produce en su entorno, un factor que influye es la velocidad con la que suceda, además existen otros factores que pueden contribuir a la corrosión como por ejemplo el esfuerzo mecánico y la erosión.

Schweitzer [13], dice que cuando se diluye el metal por acción de la corrosión, se tiene como resultado de esto que la parte metálica pierde su masa y se hace más delgada. Por esta situación se considera que la tasa de corrosión está basada en la pérdida de peso o la penetración en el metal.

1.3.1. Historia de la corrosión

Platón definía el óxido como el componente terroso que se separaba del metal. Gaius Secundus Plinio mencionó que el betún, el tono, el plomo blanco y el yeso como protectores contra la corrosión, en 1836 Davy alude sobre la protección catódica del hierro

en el agua de mar. El término en la actualidad se usó sin fundamentos para indicar las reacciones de la corrosión y daños causados. Para que los términos quedaran definidos y distinguidos está la norma DIN 50900 [14].

La necesidad de proteger el acero y el hierro contra la corrosión se reconoció generalmente durante el siglo XVIII. Los primeros indicios sobre la protección contra el óxido con pinturas aparecieron en 1822 en Dinglers Polytechnischem Journal. Desde entonces se vio la necesidad de usar barnices, aceites vegetales, resinas u otra opción es pintar las superficies de acero [14].

1.3.2. Tipos de corrosión

Una amplia gama de materiales que se usan en ingeniería, están sujetos a corrosión, tales como metales, plásticos, caucho, y sólidos iónicos y covalentes. La corrosión puede manifestarse en muchas formas, tales como corrosión uniforme o general, corrosión galvánica, corrosión por grietas, corrosión por picaduras, corrosión intergranular, lixiviación selectiva, corrosión por erosión, corrosión por tensión, fatiga por corrosión y corrosión por fricción [11].

1.3.2.1. Corrosión uniforme o general

Smith *et al.* [12], menciona que su característica principal se da por una reacción química o electroquímica que ataca uniformemente sobre la superficie expuesta del metal al ambiente corrosivo, este tipo afecta en gran parte a los aceros, aunque es fácil controlarlos con inhibidores, protección catódica y recubrimientos protectores.

1.3.2.2. Corrosión de dos metales o galvánica

Smith *et al.* [12], indica que se debe tener precaución cuando se juntan dos metales distintos ya que la diferencia en su potencial electroquímico puede desatar la corrosión, la

Tabla 4 muestra las pérdidas características de peso tanto del acero como del zinc en ambientes acuosos, de modo que cuando el acero y el zinc se encuentran desacoplados los dos tienen a corroerse a la misma velocidad sin embargo cuando se encuentran acoplados el zinc se corroe protegiendo al acero.

Tabla 4. Cambio en peso (en gramos) de acero y zinc acoplados y desacoplados. [12]

Ambiente	Desacoplados		Acoplados	
	Zinc	Acero	Zinc	Acero
0.05 M $MgSO_4$	0.00	-0.04	-0.05	0.02
0.05 M Na_2SO_4	-0.17	-0.15	-0.48	0.01
0.05 M $NaCl$	-0.15	-0.15	-0.44	0.01
0.005 M $NaCl$	-0.06	-0.10	-0.13	0.02

En la Tabla 5 se presenta una serie galvánica en la que están clasificadas las diferentes aleaciones con sus respectivas tendencias como catódicas y anódicas en función de un ambiente dado [15].

Tabla 5. Serie galvánica para el agua de mar. [15]

Serie galvánica para el agua de mar	
Extremo anódico, activo	Aleaciones de magnesio y Mg
	Zinc
	Acero galvanizado
	Aluminio 5052
	Aluminio 3003
	Aluminio 1100
	Cadmio
	Aluminio 2024
	Acero al bajo carbono
	Hierro fundido
	Soldadura 50% Pb-50% Sn
	Acero inoxidable 316 (activo)
	Plomo
	Estaño
	Latón Cu-40% Zn
	Aleaciones Base de níquel (activas)
	Cobre
	Aleaciones Cu-30% Ni
	Aleaciones Base de níquel (pasivas)
	Aceros inoxidables (pasivos)
	Plata
	Titanio
	Grafito
	Oro
	Platino
	Extremo catódico, notable

1.3.2.3. Corrosión por picadura

Es de tipo localizado y se manifiestan en forma de picaduras u hoyos en el metal, es muy destructiva para las estructuras en el caso que llegue a perforarlo. Donde la velocidad de corrosión es más alta generalmente aparecen las picaduras, generalmente primero aparecen en las superficies metálicas [12].

1.3.2.4. Corrosión por erosión

Esta puede definirse como la aceleración de la corrosión en un metal debido a un fluido corrosivo que se mueve en la superficie metálica. La característica principal en este tipo de corrosión es la aparición de hoyos, huecos, algunas picaduras, y diferentes formas de daños ubicados en la superficie metálica [12].

1.3.3. Impactos de la corrosión

En términos económicos el impacto de la corrosión implica altos costos, por ende, se utiliza un 5 % de PIB (Producto Interno Bruto) de un país de alta demanda industrial esto para la prevención y el remplazo de los productos corroídos [16].

Wiley et al. [11], resalta que el impacto más importante de la corrosión es la seguridad. Mientras que la seguridad debe ser la más alta en la mente del personal industrial, los accidentes ocurren, a pesar de las grandes precauciones. Por lo tanto, la corrosión no sólo es costosa, sino que también plantea riesgos para la vida y la seguridad humanas.

Para el proceso de la corrosión la temperatura tiene una influencia significativa. Esto no es inesperado porque es una reacción electroquímica aquí las velocidades de reacción aumentan con el aumento de la temperatura. Hay otras influencias sobre la corrosión que no sea el propio corroyente. Las velocidades relativas entre el componente y los medios pueden tener un efecto directo sobre la velocidad de corrosión [13].

1.3.4. Monitoreo de corrosión

La detección de la corrosión en diferentes medios tiene cierta dificultad para ser localizados, tanto la inspección como el monitoreo deben ser regulares y para esto se debe usar equipos que faciliten los resultados para poder dar respuesta inmediata a posibles problemas. La inspección más importante que se debe cubrir es la tolerancia a la corrosión que enmarca en si el espesor de pared permitido por la estructura o el equipo [2].

1.3.4.1.Métodos de Inspección Visual

La intervención visual es un método sencillo y de bajo costo llamado método de pruebas no destructivas, se verifica mediante un lente de aumento aquí lo que juega es la experiencia del inspector, esta persona puede ayudarse de con baroscopios y cámaras de televisión para verificar lugares de difícil acceso [2].

1.3.4.2.Radiografía (Rayos-X)

Se utiliza radiación penetrante de un tubo de rayos-x o una fuente radioactiva para descubrir fallas superficiales y subsuperficiales. Se puede identificar picaduras y huecos utilizando este método, pero tiene una desventaja la cual es ubicar grietas, se utiliza para ver lugares de difícil acceso [2].

1.3.4.3.Ultrasonido

Es un equipo de medición no destructiva de espesores de pared, con este se puede verificar fácilmente discontinuidades y grietas con la ventaja de ser utilizada en cualquier lugar [2].

1.3.4.4.Electromagnético

Este método se usa para localizar grietas, medir propiedades magnetitas y eléctricas del metal, además de detectar la falta de homogeneidad. Normalmente su aplicación es la inspección, esto puede ser en intercambiadores de calor y tuberías [2].

1.3.4.5.Métodos Electroquímicos

Son métodos de laboratorio llevados a campo y la más común es la resistencia de Polarización Lineal y utiliza un mínimo potencial aplicado para formar una conducta de polarización del metal, este tipo de método se utiliza normalmente para verificar la velocidad de corrosión pudiendo monitorear cualquier sistema [2].

1.3.4.6.Depósitos

Los depósitos encontrados en diferentes máquinas o sistemas pueden ser analizados mediante su composición química esta información podría dar respuesta a una causa de corrosión, causados por precipitaciones dentro del sistema, costras formadas por cambios de temperatura [2].

1.3.5. Prevención contra la corrosión

La medición de la corrosión es fundamental para el propósito de la elección del material. Para tener un rendimiento fiable un requisito primordial es que el metal tenga compatibilidad con su medio externo. La medición de la tasa de corrosión puede ser necesaria para la apreciación y selección de materiales para un medio específico, para una aplicación determinada o para evaluar un metal antiguo, un metal nuevo o algunas aleaciones que determinan los entornos para los que son adecuados [13].

La prevención y protección contra la corrosión interrumpe la degradación de metales y materiales por ende esto ayuda de una manera elevada la conservación de recursos y que exista el mínimo daño al ecosistema [11].

Se debe tomar mejoras proactivas y simples para evitar la corrosión, una de ellas es que se debe tratar las zonas de las superficies que no estén muy pegadas evitando grietas, evitando que se almacenen residuos de solventes y humedad. Por ejemplo, en algunos

lugares donde puede suceder esto es en los tornillos, también en remaches y en las soldaduras [17].

Métodos de prevención en estructuras de acero se puede encontrar por diversos procedimientos entre los menos costosos están el recubrimiento electrolítico y las pinturas, en el primero se aplica una capa impermeable que impide el contacto con el aire y el agua, es efectivo cuando no hay la aparición de grietas, en cambio entre las pinturas existen diferentes por citar algunos como los esmaltes horneados, pinturas ricas en zinc estas muy utilizadas por su gran protección y fácil aplicación [17].

1.3.5.1.Preparación Superficial

NACE INTERNATIONAL [2], recomienda que antes de aplicar un recubrimiento la superficie debe ser preparada con anterioridad, teniéndola libre de residuos de aceite, grasa y suelo, los cuales disminuyen la unión mecánica de la pintura con la superficie. En la siguiente tabla se describe un número de normas para diversos tipos y grados de preparación superficial.

Tabla 6. Métodos de Preparación Superficial y Estándar. [2]

JOINT NACE/SSPC (SOCIETY FOR PROTECTIVE COATINGS STANDARS)	
NACE N°1 /SSPC-SP 5	White Metal Blast Cleaning
NACE N°2 /SSPC-SP 10	Near-White Metal Blast Cleaning
NACE N°3 /SSPC-SP 6	Commercial Blast Cleaning
NACE N°4 /SSPC-SP 7	Brush-Off Blast Cleaning
NACE N°5 /SSPC-SP 12	Surface preparation of steel and other hard materials by high and ultra-high-pressure water jetting prior to recoating
NACE N°6 /SSPC-SP 13	Surface Preparation Concrete
NACE N°7 /SSPC-SP 14	Industrial Blast Cleaning

ADDITIONAL SSPC STANDARDS

SSPC-SP1-82	Solvent Cleaning
SSPC-SP2-82	Hand Tool Cleaning
SSPC-SP3-82	Power-Tool Cleaning
SSPC-SP5-82	White- Metal Blast Cleaning
SSPC-SP6-82	Commercial Blast Cleaning
SSPC-SP7-82	Brush-off Blast Cleaning
SSPC-SP8-82	Pickling

ISO STANDARDS

FOUR GRADES OF ABRASIVE BLAST CLEANING

Sa1 Brush- Off Blast
Sa2 Commercial
Sa2 ½ Near White
Sa3 White Metal

TWO GRADES OF POWER TOOL

St2 Through
St3 Very Through

FOUR SURFACE CONDITIONS

A Adherent Mill Scale
B Rusting Mill Scale
C Rusted
D Pitted and Rusted

1.3.5.2.Mecanismos de Protección

Existen tres tipos de mecanismos de protección que son:

De barrera, actúa como defensa física entre el sustrato y el ambiente. Los pigmentos inhibidores, reaccionan ante la humedad en una superficie metálica disminuyendo los

rasgos de la corrosión y por último la protección catódica en donde intervienen los metales activos del acero que son los anódicos, estos serán los que sufran el ataque de la corrosión dejando inmune a la estructura [2].

1.3.5.3.Predicción y Medición

Para la predicción y medición por corrosión se pueden realizar proyecciones, tomando en cuenta si la velocidad de corrosión decrece con el tiempo o es lineal. Es más efectiva la predicción si la velocidad de la corrosión aumenta con el tiempo [2].

La corrosión frecuente se mide con base en la velocidad de penetración por unidad de tiempo, en milésimas de pulgada por año o milímetros por año. En la predicción empírica de la corrosión uniforme se busca saber el espesor metálico para estar al tanto de cuánto afecta la corrosión, esto se logra midiendo con un micrómetro o un instrumento ultrasónico [2].

1.4.Recubrimientos

Cuando se desea aislar las regiones anódicas y catódicas normalmente se usan los recubrimientos, este a la vez impiden el contacto directo con el vapor de agua y el oxígeno previniendo la oxidación y corrosión. Existen diferentes tipos de recubrimientos, por ejemplo, los temporales como el aceite o grasa, los recubrimientos orgánicos como la pintura, algunos recubrimientos cerámicos como es el caso del vidrio, esmaltes y una amplia gama de recubrimientos metálicos entre estos se puede mencionar el galvanizado, otro ejemplo sería el acero estañado [15].

Los recubrimientos metálicos se aplican en forma de finas capas evitando el contacto con el ambiente corrosivo, en cambio los recubrimientos inorgánicos donde se encuentran los cerámicos y vidrios, se aplican con el fin de obtener un acabado liso y que estos aseguren

una alta durabilidad, otros tipos de recubrimientos orgánicos son las pinturas, lacas, barnices y algunos materiales polímeros son utilizados para ambientes altamente corrosivos [12].

1.4.1. Aplicación de Recubrimientos

Varias técnicas de aplicación de recubrimientos han sido perfeccionadas. Las aplicaciones de recubrimientos más usuales están basadas en métodos manuales por ejemplo la brocha, también se puede usar un rodillo, otra forma de aplicación es mediante rociado por ejemplo el spray y métodos especializados como la inmersión [2].

La brocha y el rodillo son los más realizables y de fácil aplicación, los recubrimientos por rociado se usa convencionalmente el aire en donde partículas de pintura son atomizadas y son incrustadas en la superficie a protegerse. En la técnica de rociado por flama, polvos termoplásticos o barra son sostenidos a una flama apropiada e inducida hacia el área a ser cubierta, en la técnica de inmersión la pieza a ser protegida es sumergida dentro de un baño de metal fundido por ejemplo si este metal es zinc se lo llama galvanizado[2].

1.4.2. Recubrimientos Protectores

Para impedir el contacto con el medio corrosivo se usan algunos recubrimientos protectores, además estos pueden ser utilizados como: impermeables, reductores de transmisión de vapor de agua resistencia a los rayos ultravioletas del sol, para evitar el ataque de hongos en madera, como anti-incrustantes de la industria marina, según sea su requerimiento [2].

1.4.3. Pintura

Para la prevención de la corrosión el método más usado es el revestimiento de pintura. Una pintura anticorrosiva se compone de disolventes, diluyentes, pigmentos y aditivos

como los antioxidantes, espesantes, algunos secadores, y varios agentes anti-sedimentación, en la pintura el aglutinante y su pigmento son características principales [18].

Para las estructuras metálicas la principal protección es la pintura, para los aceros al carbono las pinturas por el tipo de resina se clasifican en: alcalinas, epóxicas, poliuretánicas y acrílicas [17].

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1. Materiales y equipos

La Tabla 7 detalla los equipos y los materiales utilizados a lo largo de la investigación del presente trabajo.

Tabla 7. Materiales y equipos usados en la investigación

Materiales	Equipos
Correas para techos del tipo G	Máquina Universal de ensayos UPS
100x100x50x15x2	Máquina Universal de ensayos EPN
Cloruro de sodio	Microscopio electrónico de UPS
Cloro	Balanza Digital de UPS
Recipiente para sumergir las probetas	Espectrofotómetro de la UPS
Pintura anticorrosiva	
Anticorrosivo Bate piedra	

2.2. Características de los equipos

2.2.1. Máquina universal de ensayos de la Universidad Politécnica Salesiana

Para las primeras pruebas de flexión se utilizó la máquina universal de ensayos de la UPS es un modelo TEST RESOURCES electromecánico como se observa en la Figura 4, tiene una capacidad de 50 [KN] y una capacidad de celda de carga de 5 [KN].

Cuenta con un sistema de control independiente, con excelente precisión en la toma y procesamiento de datos; su servo control permite sondear notas de carga, posición y deformación a grandes velocidades.



Figura 4 Máquina universal para ensayos de la UPS

2.2.2. Máquina universal de ensayos de la Escuela Politécnica Nacional

Debido a la baja capacidad de la celda de carga de la máquina universal de la UPS se recurrió a los equipos e instrumentación del Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional y se detallan a continuación:

En las Figuras 5 y 6 se observa la máquina universal de ensayos de la EPN y se puntualiza el sistema para aplicar la carga, (1) un cilindro de doble efecto, con una capacidad de 100 [T] que se utilizará para aplicar la carga incremental, (2) la celda de carga HBM-KRAFTAUFNEMER con una capacidad de hasta 20 [T] y por último (3) la rótula donde se acopla el sistema de carga con un prototipo diferente para cada ensayo.



Figura 5. Máquina universal de la Escuela Politécnica Nacional



Figura 6. Sistema para aplicar la carga

Para que el cilindro de doble efecto funcione se utiliza una bomba hidráulica ZE5 con una presión máxima de trabajo de 10.000 [Psi], la cual se aprecia en la Figura 7.



Figura 7. Bomba hidráulica ZE5

Para medir y registrar los desplazamientos verticales en las probetas se utilizó un LVDTs – HBM, mostrada en la Figura 8, este es un transductor inductivo de desplazamiento, contiene un soporte imantado que permite colocarlo en cualquier lugar, una perilla de fácil regulación y un palpador que puede medir desplazamientos de hasta 200 mm.



Figura 8. LVDTs – HBM con desplazamiento de palpador de 200mm

En la Figura 9 se observa el sistema UPM HBM de 80 canales para la obtención y procesamiento de datos.



Figura 9. Sistema UPM HBM de 80 canales

2.2.3. Microscopio Metalográfico de la Universidad Politécnica Salesiana

Para verificar y analizar los cambios micro estructurales que suceden durante el proceso de corrosión se utilizó un microscopio metalográfico invertido mostrado en la Figura 10, tiene una cámara digital de procesamiento de imágenes instantáneas y un lente de aumento en 100 veces el campo de plano visual con la ayuda de este instrumento se puede verificar con mayor facilidad las grietas y picaduras que son producidas por la salmuera.



Figura 10. Microscopio Metalográfico de la Universidad Politécnica Salesiana

2.2.4. Espectrofotómetro de la Universidad Politécnica Salesiana

Con el Espectrofotómetro que aparece en la Figura 11 se determinó la composición química del material antes y después de ser expuesto a la corrosión acelerada, identificando las aleaciones y los cambios producidos en estas a causa del deterioro. Este equipo funciona con una bomba de vacío, haciendo un sistema libre de contaminación y tiene un mínimo consumo de argón.



Figura 11. Espectrofotómetro de la Universidad Politécnica Salesiana

2.2.5. Balanza electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana

Para la verificación de la disminución de la masa en cada una de las probetas se usó una balanza electrónica con unidades en [kg], [lb] y una capacidad de hasta 30 kg.



Figura 12. Balanza electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana

2.3. Metodología usada para el desarrollo de la experimentación

- Dimensionar y preparar las probetas para la máquina universal de la Universidad Politécnica Salesiana
- Dimensionar y preparar las probetas para la máquina universal Escuela Politécnica Nacional
- Preparación de la salmuera
- Sumergir las probetas en la salmuera
- Preparación de los ensayos a flexión en la universal Universidad Politécnica Salesiana
- Preparación de los ensayos a flexión en la universal Escuela Politécnica Nacional
- Corroborar mediante un microscopio metalográfico el daño que sufren las probetas al estar en contacto con la salmuera
- Determinar si existe algún cambio en la composición química del perfil antes y después de haber sido sometido a corrosión acelerada.
- Verificar si existe cambio de masa en las probetas sumergidas en el medio acuoso.

2.3.1. Dimensionamiento y preparación de las probetas para la universal de la Universidad Politécnica Salesiana

Para el dimensionamiento de las probetas se tomó en cuenta la distancia entre los apoyos, además la capacidad de carga que aplica esta máquina universal de ensayos. Las dimensiones entre los apoyos son de 380 mm, pero se debe dejar una distancia sobrepasada a cada uno de los extremos como se muestra en la siguiente Figura 13, es por eso, que la dimensión de la probeta fue de 500 mm de longitud.

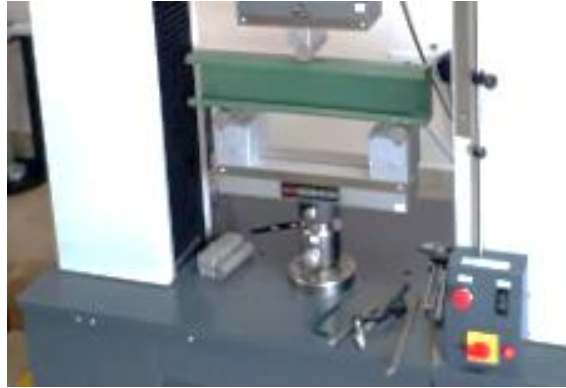


Figura 13. Verificación de la distancia entre apoyos.

Con la longitud de 500 mm ya determinada, se procedió al corte (Figura 14) de las 40 probetas definidas para cada uno de los ensayos (14 probetas sin pintar, 13 probetas pintadas con anticorrosivo, 13 probetas pintadas con bate piedra).



Figura 14. Corte de probetas para ensayos a flexión

Ya cortadas las probetas se procedió a pintar cada una de estas con dos tipos de revestimientos, pintura anticorrosiva y recubrimiento BATEPIEDRA mostradas a continuación en la Figura 15.



Figura 15. Pinturas (izquierda) pintura anticorrosiva, (derecha) recubrimiento bate piedra

Para la aplicación de los recubrimientos se siguió las recomendaciones de los fabricantes y se obtuvieron las siguientes probetas (Figura 16) listas para someterlas a inmersión salina.

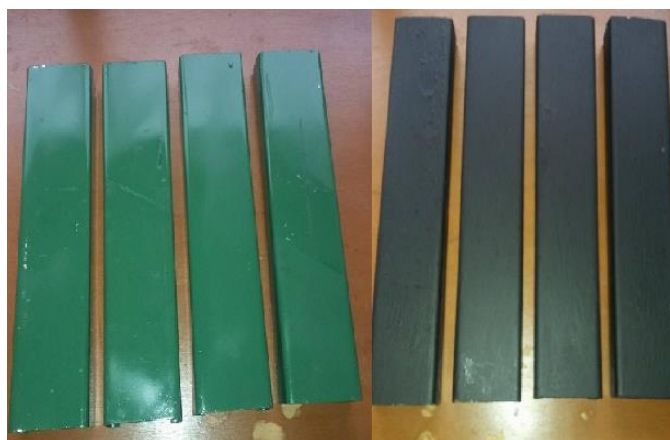


Figura 16. Probetas aplicadas pintura anticorrosiva y bate piedra

2.3.2. Dimensionamiento y preparación de las probetas para la máquina universal de la Escuela Politécnica Nacional

Debido a que la celda de la carga de la máquina universal de ensayos de la Universidad Politécnica Salesiana no fue de la capacidad adecuada se procedió a la medición entre los apoyos para la máquina universal de ensayos del CDIV (Centro de Investigación de la

Vivienda), de la Escuela Politécnica Nacional, esta máquina posee una capacidad de carga de [20T] por lo tanto es más robusta.

Para que los ensayos tengan una mayor exactitud los técnicos encargados del CDIV recomendaron una distancia entre apoyos de 1000 mm con un sobrepaso en cada apoyo.

Se Concluye que la distancia final de la probeta fue de 1200 mm, en la Figura 17 se observa la verificación de la Máquina Universal de ensayos.



Figura 17. Verificación de la Máquina universal de la Escuela Politécnica Nacional

El procedimiento del corte y la preparación de los recubrimientos para las probetas son los mismos que se realizaron en el anterior punto, la diferencia es la longitud de la probeta ya que es de 1200 mm.

2.3.3. Preparación de la salmuera

La preparación de la salmuera fue sustentada en la norma ASTM B117 – 16 [19], con la que se determina realizar una solución salina al 5% en la que detalla que por 1 gramo de

sal esta debe diluirse en 1 mililitro de agua, para la realización de la salmuera se aplicó la siguiente Tabla 8, seguidamente tomando en cuenta lo que la norma indica que el PH del agua debe estar en un rango de 6,5 a 7,2 se realizó una prueba para corroborar midiendo el PH con un papel de PH como me muestra en la Figura 18

Tabla 8. Porcentaje de la salmuera artificial. [19]

Cantidad en 1litro de agua	Compuesto
100gr.	Cloruro de sodio (NaCl)

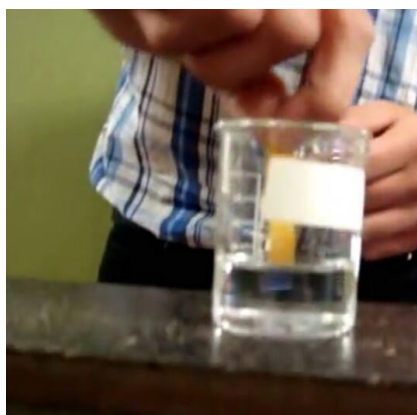


Figura 18. Prueba para medir el PH del agua

2.3.4. Sumergir las probetas en la salmuera

Para la inmersión de las probetas en la salmuera se aplica la norma ASTM G31 – 12 [20], la cual muestra que los materiales no responden de la misma manera a la corrosión debido que esta cambia por diferentes factores los cuales pueden acelerar o disminuir la velocidad con la que se oxida y por ende los resultados tienden a ser indicativos o en ocasiones engañosos.

De acuerdo con el estudio que se está realizando, se pretende acelerar el proceso de corrosión por medio de sumergir las probetas en una solución acuosa de salmuera

artificial, en la cual las probetas serán sometidas a ensayos a 3, 7,14 y 21 días. En la siguiente figura se puede apreciar las probetas sumergidas en salmuera.



Figura 19. Probetas sumergidas en la salmuera

2.3.5. Preparación de los ensayos a flexión en la Universidad Politécnica Salesiana

Debido a la forma geométrica del perfil G no hay una norma específica que indique el método adecuado de realizar el ensayo a flexión en esta clase de perfiles estructurales, es así que por recomendación de los laboratoristas del Centro de Investigación de la Vivienda se utilizó las normas ASTM C293 – 02 [21], ASTM D7972 -14 [22] y ASTM C1609M – 12 [23], ya que con extractos de estos se correlacionan con las necesidades de la investigación.

Antes de realizar los ensayos de flexión se reconoció la máquina de ensayos, a primera vista se debía cambiar los implementos para realizar la práctica como menciona la norma ASTM C29 – 02 [21] y C1609M – 12 [23], los instrumentos se muestran a continuación en la Figura 20.



Figura 20. Instrumentos (a) apoyos para la probeta, (b) celda de carga, (c) apoyo de carga

Luego de cambiar los instrumentos para el ensayo a flexión la máquina queda preparada, como las pruebas son de flexión de una viga simplemente apoyada con una carga en el punto central la máquina quedará como se observa en la Figura 21



Figura 21. Máquina universal preparada para ensayo a flexión

Luego se verifica que las superficies de los apoyos estén en contacto con la muestra, la norma ASTM C1609M – 12 [23], dice que si no se logra un contacto completo se debe colocar materiales de tapado en los soportes.

Luego colocar la probeta y el sistema de carga verificando que esté de acuerdo con el método de ensayo de las normas ASTM C293 – 02 [21], ASTM D7972 -14 [24] y ASTM C1609M –12 [23], (una viga simplemente apoyada con una carga en la mitad).

La velocidad de la celda de carga será de 0,20 mm/min según la Tabla 9 de la norma ASTM C1609M –12 [23], ya que la probeta se asemeja a las medidas del primer ítem.

Tabla 9. Rate of increase in net deflection. [23]

Beam size	Up to net deflection of L/900	Beyond net deflection of L/900
100 by 100 by 350 mm	0,025 to 0,075 mm/min	0,05 to 0,20 mm/ min
150 by 150 by 500 mm	0,035 to 0,10 mm/min	0,05 to 0,30 mm/ min

Se programa el software de la máquina universal de la Universidad Politécnica Salesiana y se procede con el ensayo, de primer plano la probeta fue colocada de la siguiente forma vertical como se muestra en la Figura 22 (a) pero la capacidad de la celda de carga no fue la suficiente y se terminó realizando las pruebas de manera horizontal Figura 22 (b).



(a)

(b)

Figura 22. Posición de la probeta (a) Forma vertical de la probeta (b) Forma horizontal de la probeta

Al aplicar la precarga y con la velocidad de celda de carga se obtienen automáticamente la curva de carga – deformación (Figura 23).

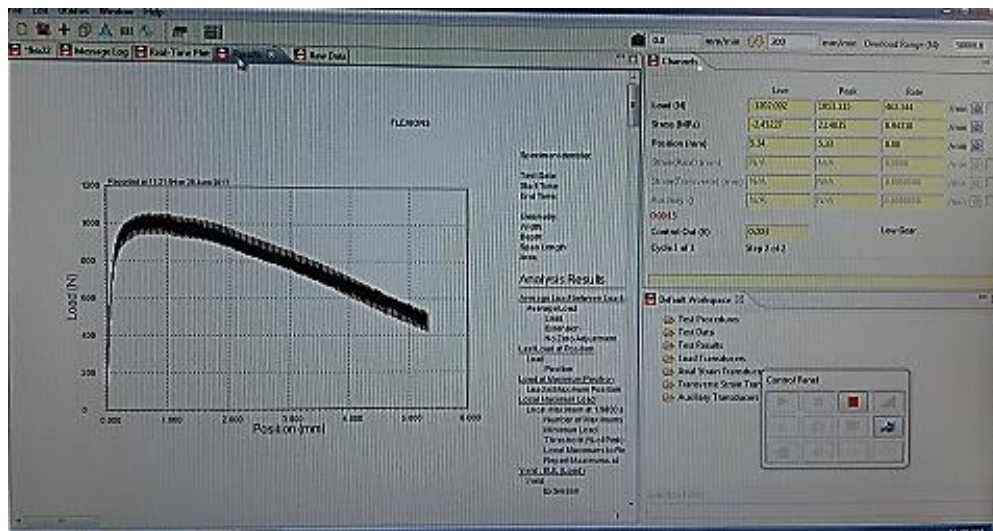


Figura 23. Curva Carga Vs. Deformación obtenida por el software

Las pruebas se las realizaron en tres y siete días de haber sido sometidas los perfiles a corrosión, pero se decidió cancelar las pruebas debido la forma horizontal de cómo estaba trabajando la viga no es la adecuada para correas de techos.



Figura 24. Ensayos a flexión en probetas (izquierda) sin pintura (centro) con Bate piedra (derecha) con anticorrosivo

2.3.6. Preparación de los ensayos a flexión en el Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional

Para los ensayos realizados en el Centro de Investigación de la Vivienda, se utilizaron las mismas normas ASTM C293 – 02 [21], ASTM D7972 -14 [24] y ASTM C1609M –12 [23], que se usaron en los ensayos en la Universidad Politécnica Salesiana, la diferencia es que se tuvo que realizar algunas adecuaciones necesarias en la máquina universal de ensayos.

En primera instancia todos los que ingresaban al laboratorio debían hacerlo con el equipo de seguridad industrial, luego se verificó que los soportes de la máquina universal estén debidamente ajustados, esto se comprobó bajando al subsuelo del CIDV como se observa en la Figura 25.



Figura 25. Verificación de los pernos de los soportes de la máquina universal de la EPN

La ubicación del cilindro de doble efecto también se modificó de forma horizontal a vertical, el montaje se realizó con ayuda de un puente grúa (Figura 26).



Figura 26. Cambio de ubicación del cilindro de doble efecto de la máquina universal de la EPN

La norma ASTM C293 – 02 [21] y C1609M – 12 [23], muestra los instrumentos para realizar las pruebas de flexión, en el CDIV para similitud se adecuó los ensayos como se muestra en la Figura 27, donde la carga puntual fue ejercida por (A) una celda de carga en forma redondeada, y (B) un apoyo a cada lado mediante bloques metálicos.

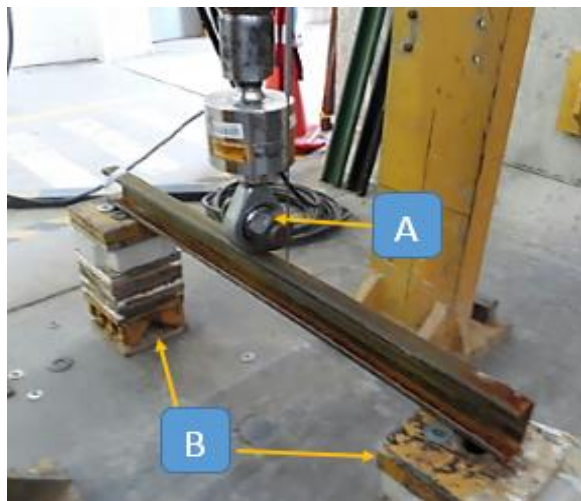


Figura 27. Adecuación de los ensayos a flexión en la máquina Universal

Colocar el LVDTs – HBM en cada una de las probetas a ensayarse, este ayudará a censar los cambios de desplazamientos durante todo el procedimiento, se debe comprobar que el LVDTs – HBM este paralelo a la celda de carga y perpendicular con la probeta a ensayar ayudándose de un nivel imantado (Figura 28).



Figura 28. Comprobación de paralelismo y perpendicularidad del LVDTs – HBM con la probeta y la celda de carga

La velocidad de la celda de carga será de 0,20 mm/min según la Tabla 9 de la norma ASTM C1609M –12 [23], la misma que se utilizó para los ensayos de la máquina universal de la Universidad Politécnica Salesiana.

Se ingresaron los datos pertinentes al Sistema UPM HBM para la programación del software que emitirá los datos de carga y deformación los cuales servirán para realizar la curva carga vs deformación. La fuerza de la precarga y carga se proporciona manualmente con la bomba hidráulica.

Las pruebas se las realizaron en los periodos de 3, 7, 14 y 21 días de haber sido sometidos los perfiles a envejecimiento acelerado, y fueron de la siguiente manera como se muestra en la Figura 29.



Figura 29. Prueba de flexión realizada en la máquina Universal

2.3.7. Identificación de los daños que sufren las probetas sometidas en salmuera mediante el microscopio metalográfico del laboratorio de metalografía de la Universidad Politécnica Salesiana

Durante la investigación se observó si hubo un cambio en la microestructura del material, mediante el microscopio metalúrgico del laboratorio de metalurgia de la Universidad Politécnica Salesiana.

Para realizar esto se cortó una muestra (Figura 30) de cada una de las probetas sometidas a corrosión, pero antes de eso se preparó una probeta del material A36 con el cual está constituido el perfil tipo G.



Figura 30. Muestras de las probetas sometidas a corrosión

Estas probetas son colocadas en el microscopio como se muestra en la Figura 31 y por medio del zoom aumentado 100 veces su tamaño se puede observar las afectaciones de la salmuera en cada una de las probetas. El software del microscopio permite capturar mediante una imagen de extensión JPEG.



Figura 31. Obtención de los cambios de la microestructura en las probetas.

2.3.8. Verificación del cambio de masa en probetas sometidas a corrosión.

Antes de colocar las probetas en la salmuera se señaló cada una para después verificar el cambio de masa mediante un muestreo estadístico, así como lo menciona la Norma ASTM G31 – 12 [20].

La norma ASTM G31 – 12 [20], indica que la masa de los especímenes debe analizarse en una balanza analítica con una precisión de 1 mg o superior, por lo que para analizar cada una de las probetas se utilizó la balanza electrónica del laboratorio de metalurgia de la Universidad Politécnica Salesiana. Como se mencionó al principio de cada una de las muestras pintadas con anticorrosivos, bate piedra y las muestras no pintadas fueron analizadas y sondeadas como se muestra en la Figura 32.

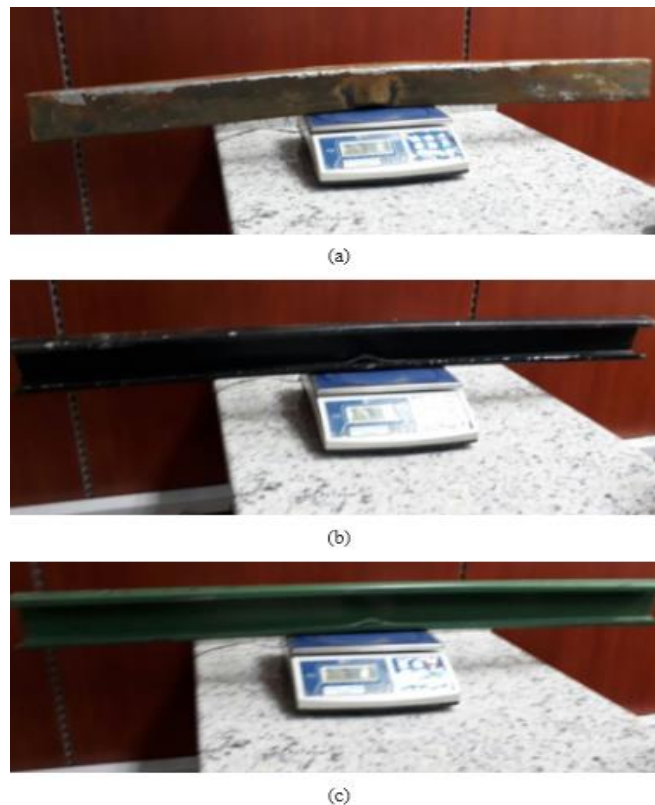


Figura 32. Toma de datos en la balanza electrónica (a) probeta no pintada (b) probeta pintada con bate piedra (c) probeta pintada con anticorrosivo

2.3.9. Determinación de algún cambio en la composición química del perfil G antes y después de haber sido sometido a corrosión acelerada.

La última prueba se realizó en el espectrofotómetro del laboratorio de metalurgia de la Universidad Politécnica Salesiana, para analizar si existió un cambio drástico en la composición química del material a lo largo del proceso de corrosión.

Para esta prueba se obtuvieron dos muestras, una del material original sin ser sometido a corrosión y otra de la última probeta sometida a salmuera a los 21 días, esto se hizo para poder apreciar de mejor manera alguna disminución en los porcentajes de los componentes.

En primera instancia dos horas antes de la prueba se encendió la bomba de vacío que funciona con argón (Figura 33), esto se hace para que el argón purifique la máquina de toda clase de impurezas, logrando que la prueba sea más eficiente.



Figura 33. Bomba de vacío

El kit de limpieza de la máquina como se observa en la Figura 34 servirá para limpiar levemente las muestras para que el contacto sea uniforme con el electrodo de pruebas.



Figura 34. Kit de limpieza para muestras

Se enciende la máquina y se setea según el material que se va analizar (Figura 35), se coloca la muestra en el lugar donde se indica y con la manija de seguridad se presiona para que la muestra no se mueva de ninguna forma.

Hay que asegurarse de que la muestra esté completamente paralela con el orificio del electrodo de prueba.



Figura 35. Muestra lista para ensayo en el espectrofotómetro

Se oprime el botón start y la máquina empieza a emitir datos que se ven reflejados en la pantalla del ordenador, la prueba se demora de 2 a 5 minutos.

Se retira la manija de seguridad y se quita la muestra. Antes de empezar con otra prueba se debe de limpiar el electrodo de pruebas como se ve en la Figura 36 para que los datos no salgan erróneos.



Figura 36. Limpieza del electrodo de pruebas

Las muestras después de las pruebas quedan marcadas, donde se aprecia el lugar en el cual actuó el electrodo para sondear los porcentajes de los componentes de material (Figura 37).



Figura 37. Probetas después de la prueba en el espectrofotómetro

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Microestructura de las probetas afectadas por la corrosión

En la Figura 38 se puede apreciar la vista de una probeta que no ha sido sometida a la corrosión acelerada, a esta probeta se le realizó un examen metalográfico con el microscopio metalográfico de la Universidad Politécnica Salesiana.

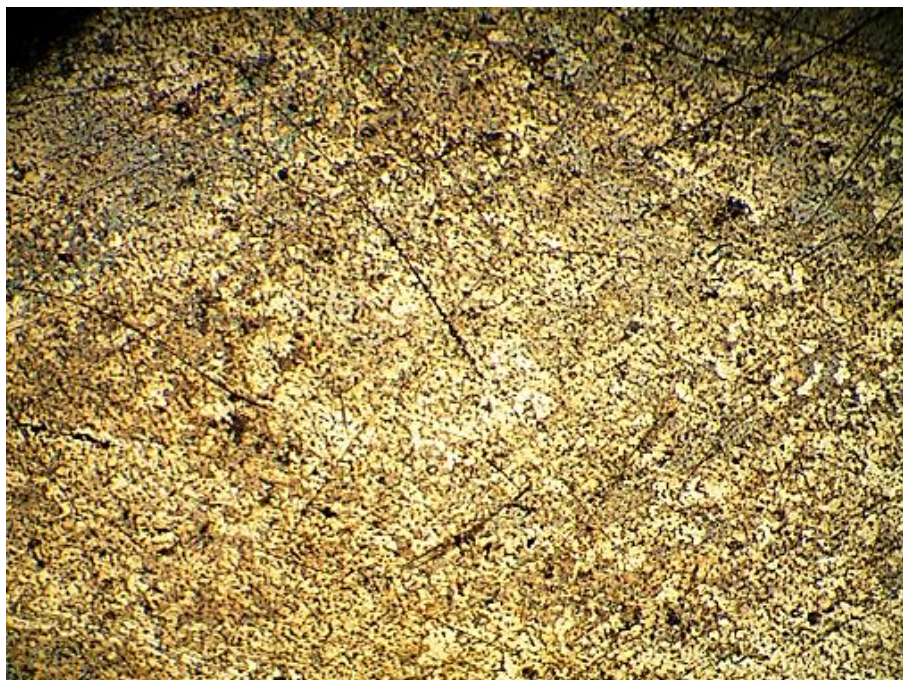


Figura 38. Examen metalográfico de una probeta del perfil G

3.1.1. Examen metalográfico de las probetas sumergidas 3 días en salmuera

Mediante el examen metalográfico se puede apreciar el daño causado por la solución acuosa en las probetas previamente sumergidas durante tres días, aquí se puede corroborar que en las probetas que están protegidas con pintura anticorrosiva (Figura 40) y la que está protegida con bate piedra (Figura 41) sufren menor daño que la que se encuentra sin recubrimiento (Figura 39).



Figura 39. Examen metalográfico de una probeta del perfil G sin protección a los 3 días.

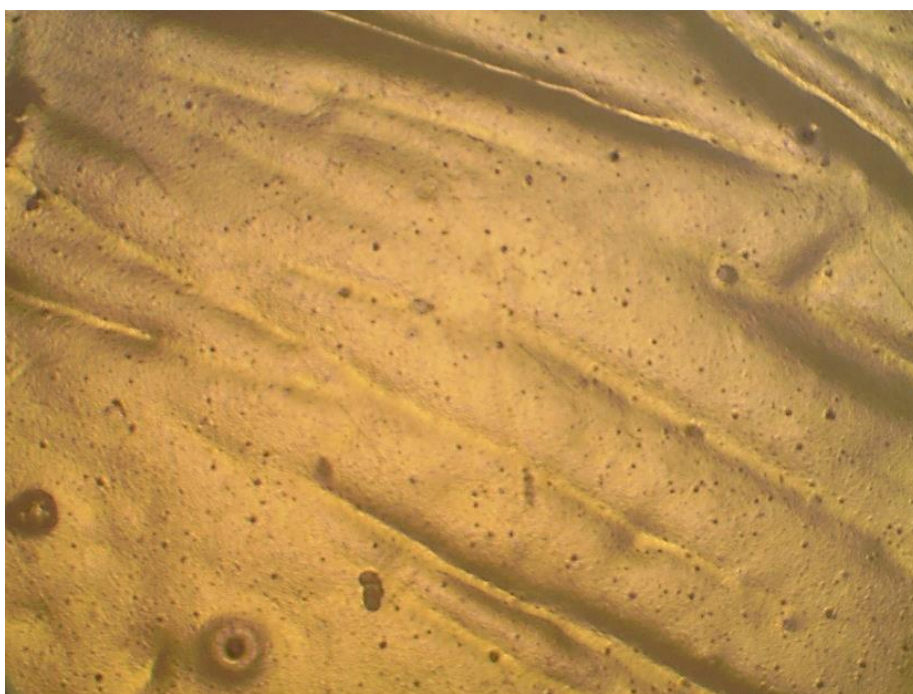


Figura 40. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con pintura a los 3 días

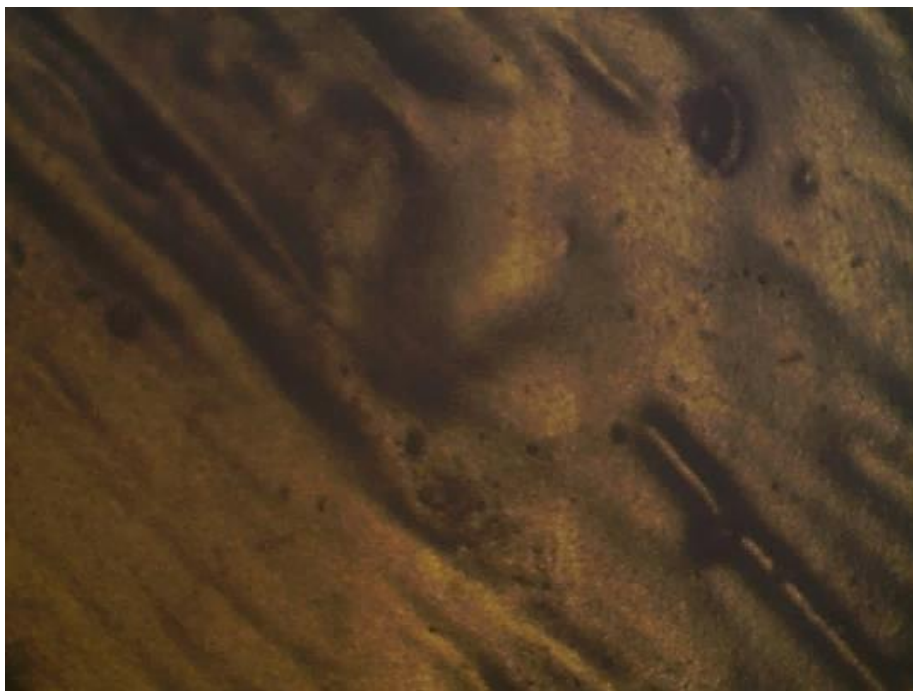


Figura 41. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con bate piedra a los 3 días

3.1.2. Examen metalográfico de las probetas sumergidas 7 días en salmuera

Con el examen metalográfico realizado a las probetas sumergidas 7 días en envejecimiento acelerado se puede evidenciar que estas han sufrido mayor deterioro que las sumergidas a los 3 días, la probeta sin recubrimiento siendo la más afectada empieza a presentar picadura debido al ataque de la salmuera como muestra la Figura 42, en el caso de la pintura se puede observar que mantiene mejor protegido al material como se muestra en la Figura 43 y en el caso de la Figura 44 se puede apreciar que la salmuera afectado el recubrimiento de bate piedra llegando así al material.

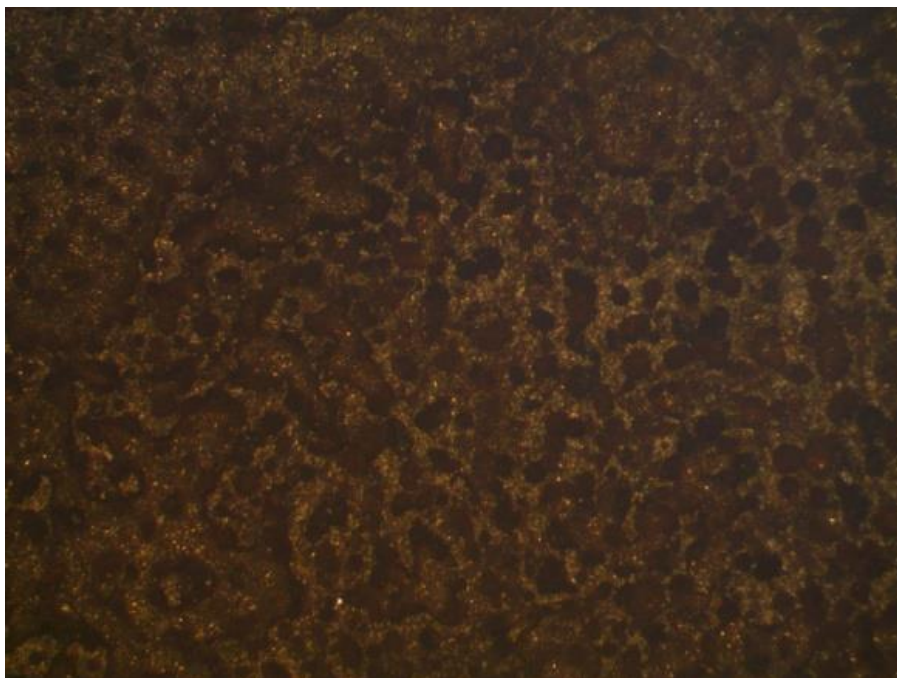


Figura 42. Examen metalográfico de una probeta del perfil G sin protección a los 7 días



Figura 43. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con pintura a los 7 días

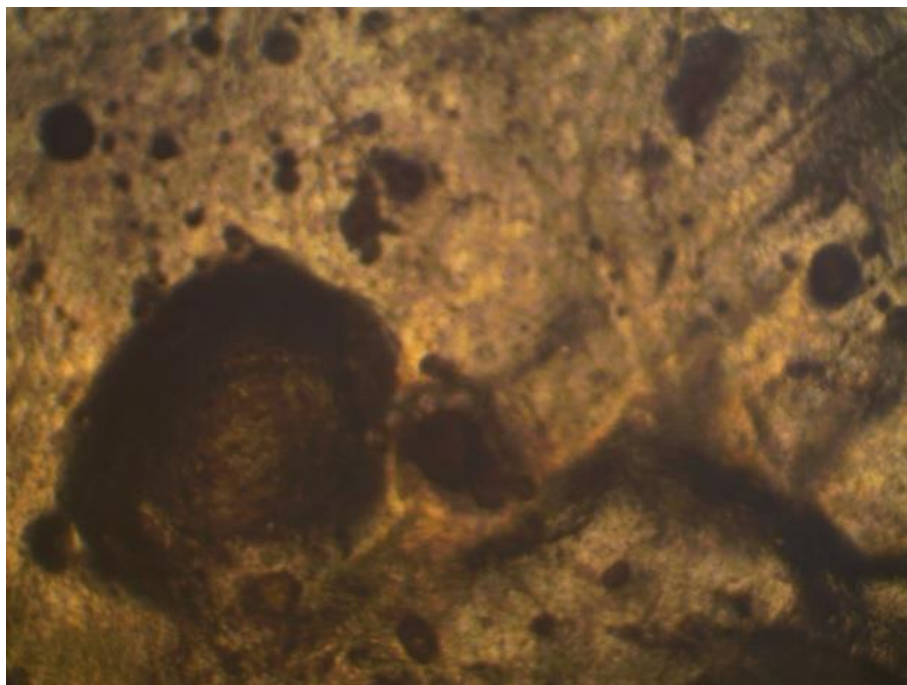


Figura 44. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con bate piedra a los 7 días

3.1.3. Examen metalográfico de las probetas sumergidas 14 días en salmuera

En el examen metalográfico realizado a las probetas sumergidas 14 días en salmuera se puede observar que ya presentan mayor afectación, en la probeta sin anticorrosivo se puede evaluar que el material posee picadura como se muestra en la Figura 45, en la probeta que fue protegida con pintura anticorrosiva también empieza a evidenciar que el estado acuoso ya está atacando al material por grietas causadas en la pintura (Figura 46), en el bate piedra empieza a existir mayor ataque por picadura como se muestra en la Figura 47.

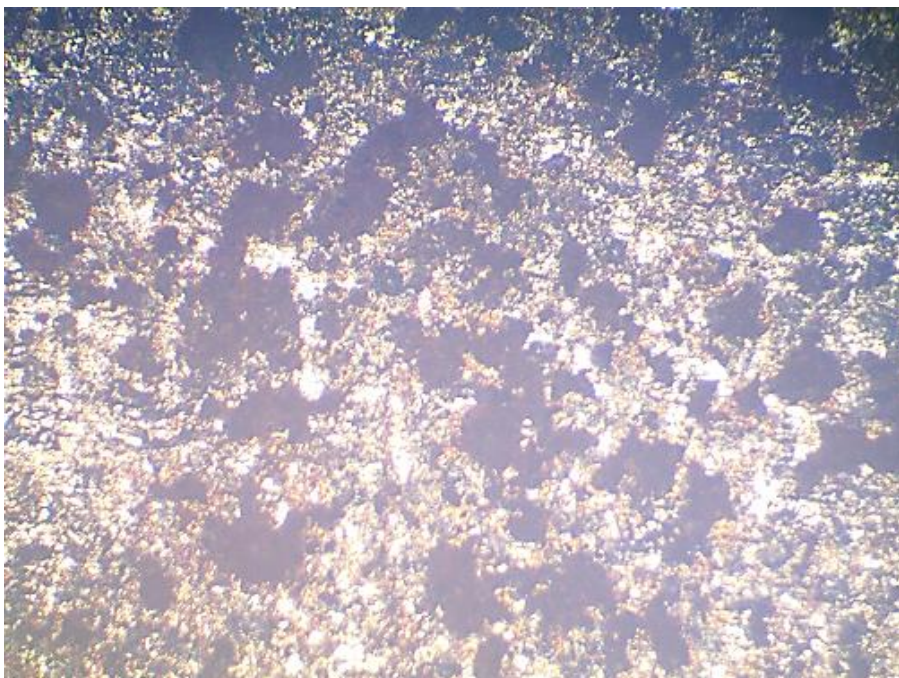


Figura 45. Examen metalográfico de una probeta del perfil G sin protección a los 14 días

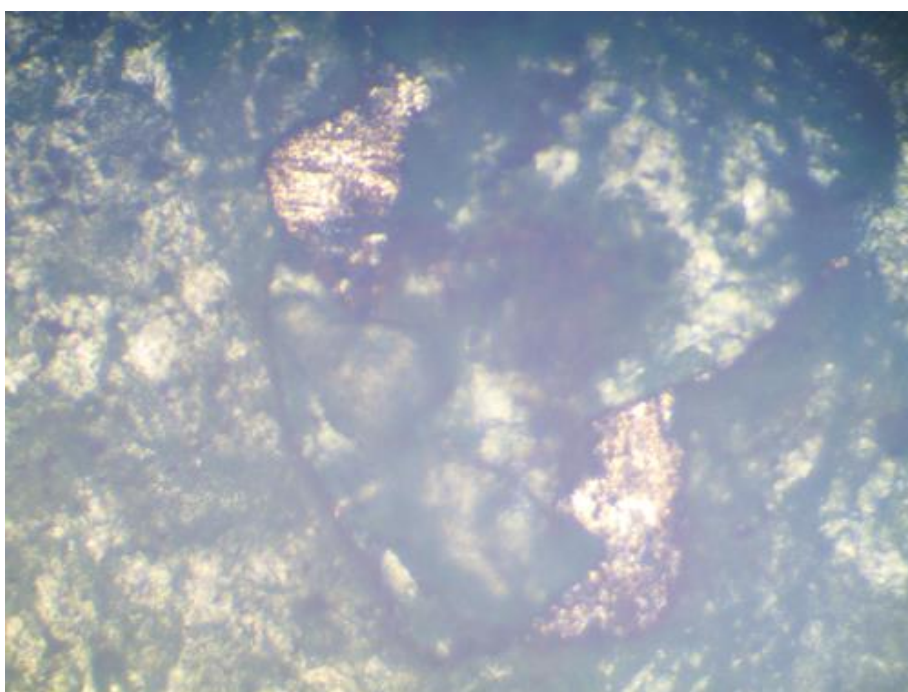


Figura 46. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con pintura a los 14 días

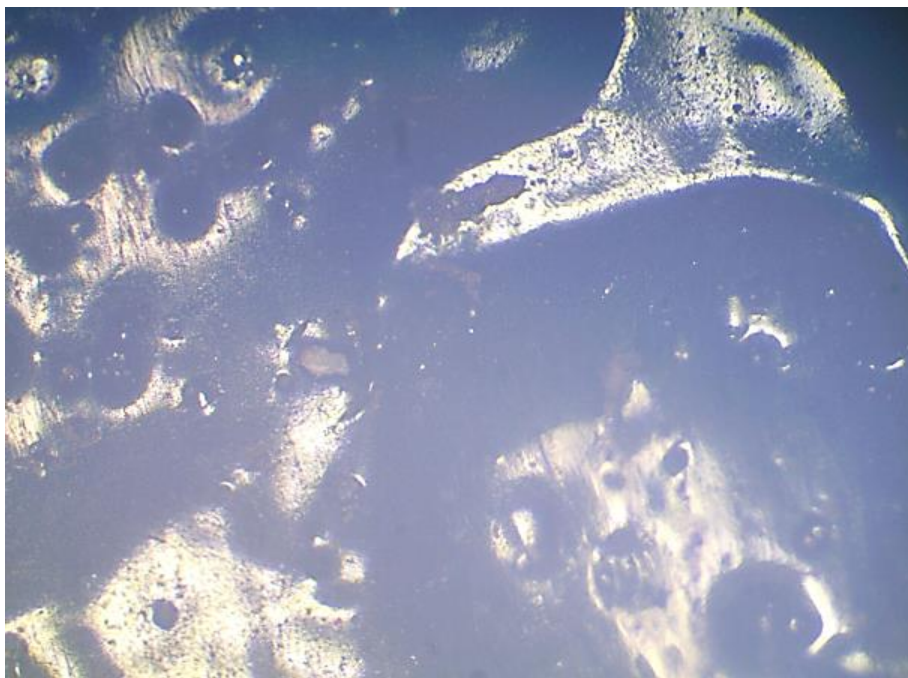


Figura 47. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con bate piedra a los 14 días

3.1.4. Examen metalográfico de las probetas sumergidas 21 días en salmuera

A los 21 días de estar sumergidas las probetas en salmuera mediante el examen metalográfico se observa que el material ya es gravemente corroído, la probeta que no está protegida se puede observar como el material fue desgastado por la corrosión como se muestra en la Figura 48, en la probeta que está protegida por pintura anticorrosiva se aprecia que ya tiene varios ataques por picadura como muestra la Figura 49 y en la Figura 50 protegida por bate piedra se puede prestar atención que el medio acuoso ya está en contacto con el material y está afectado por esta.

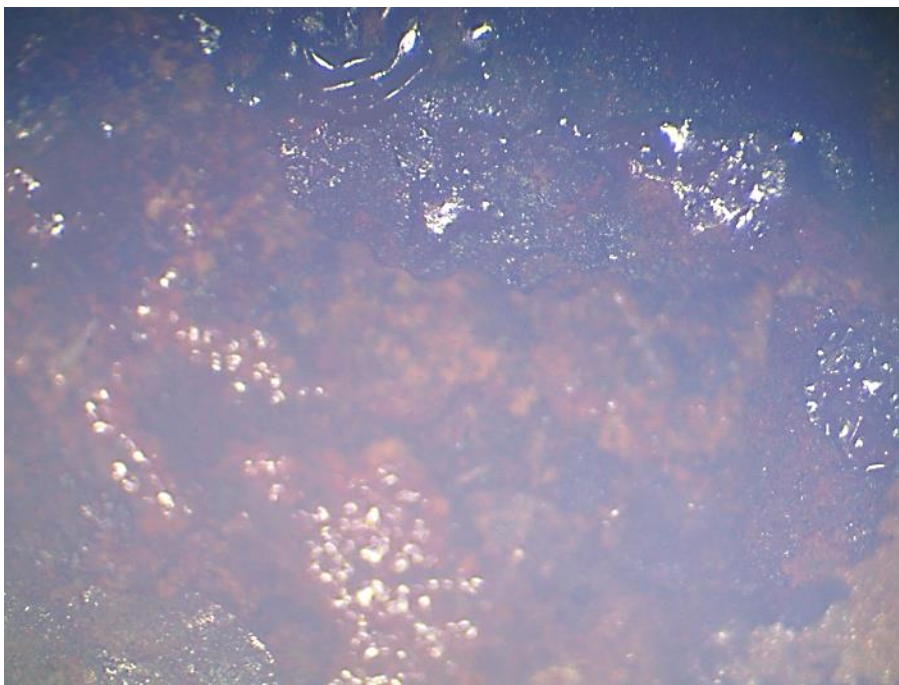


Figura 48. Examen metalográfico de una probeta del perfil G sin protección a los 21 días

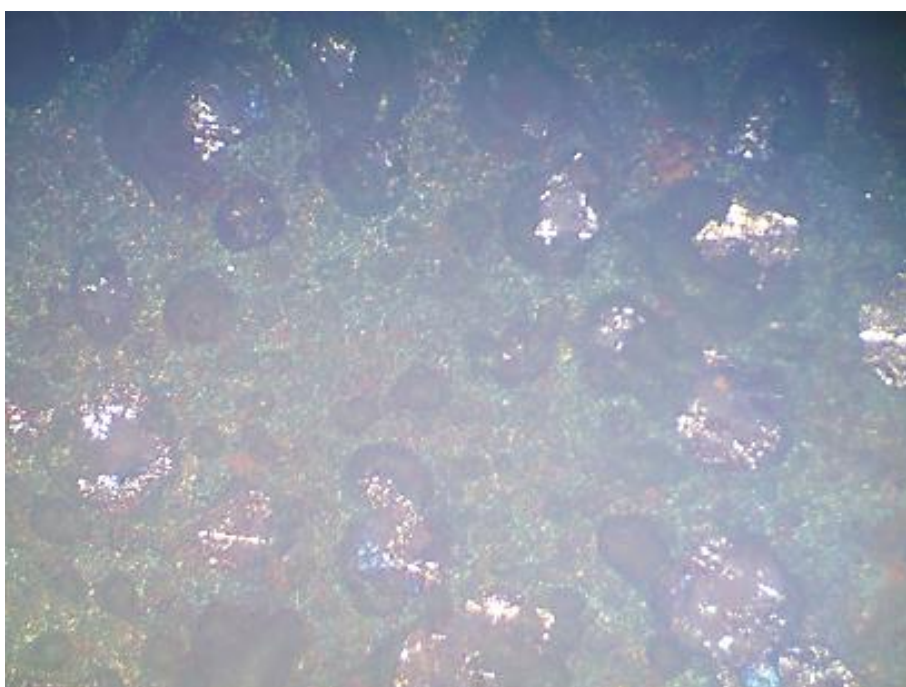


Figura 49. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con pintura a los 21 días

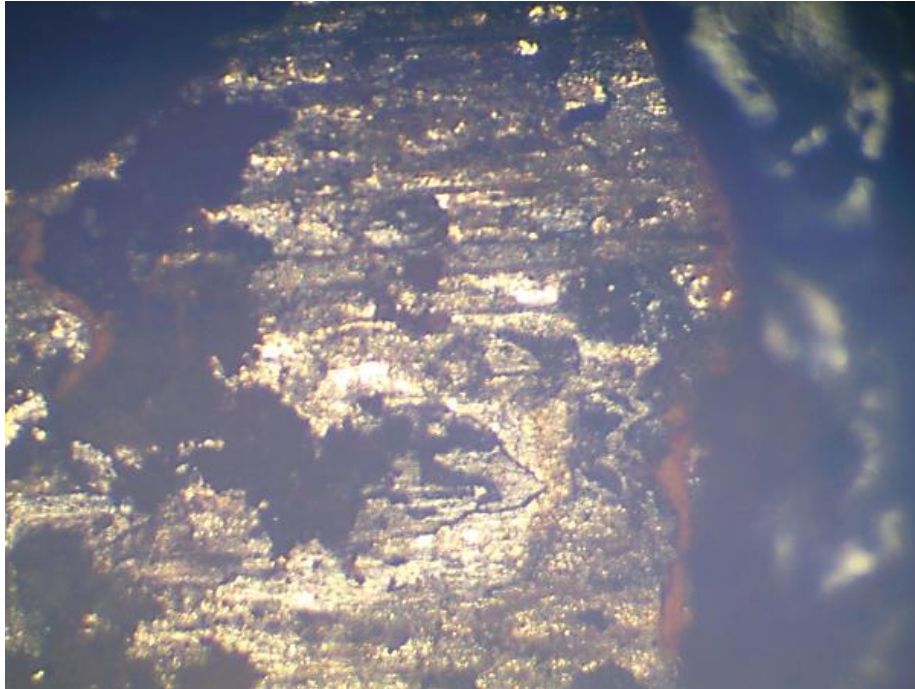


Figura 50. Examen metalográfico de una probeta del perfil G protegida con bate piedra a los 21 días

3.2. Curvas carga deformación obtenidas en la máquina universal de la Universidad Politécnica Salesiana

Mediante la máquina universal de la Universidad Politécnica Salesiana se procederá a realizar los ensayos de flexión para así poder sustentar la investigación que se está realizando.

3.2.1. Diagramas carga deformación obtenidas a los 3 días

Mediante los ensayos a flexión que se realizaron en la máquina universal de la Universidad Politécnica Salesiana a las probetas del perfil G se pudo corroborar que la carga máxima que resistían no era la misma en todas las probetas, dejando como resultados que la probeta protegida con bate piedra era la que más carga soporto (Figura 53), la probeta protegida con pintura anticorrosiva también tiene una alta resistencia a la carga y siendo la probeta

que carece de anticorrosivos la más vulnerable, en la Tabla 10 se puede apreciar la carga máxima de cada probeta.

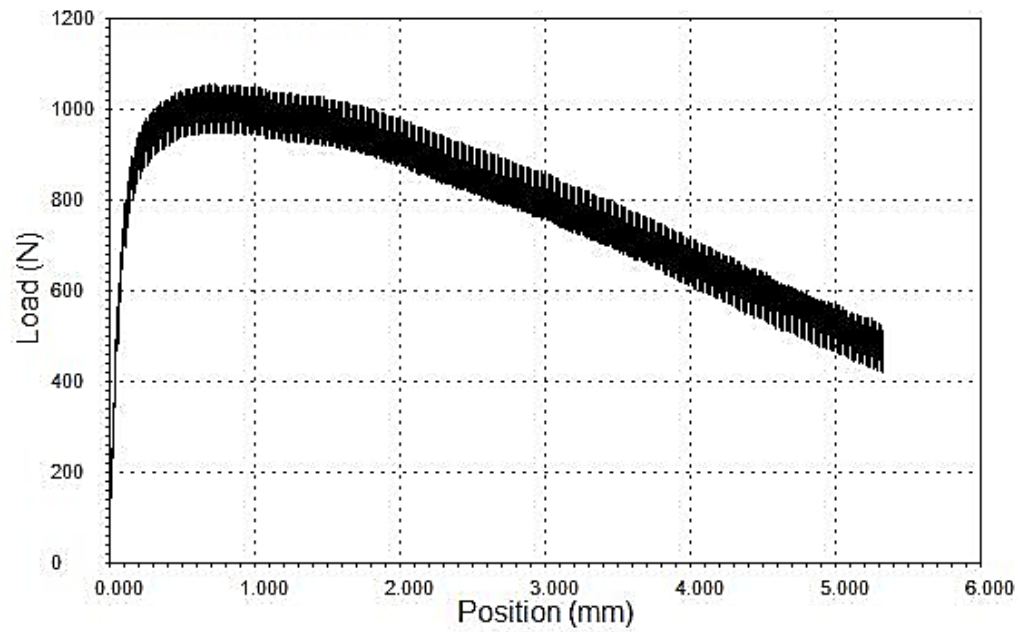


Figura 51. Deflexión de la probeta sumergida por tres 3 sin anticorrosivos

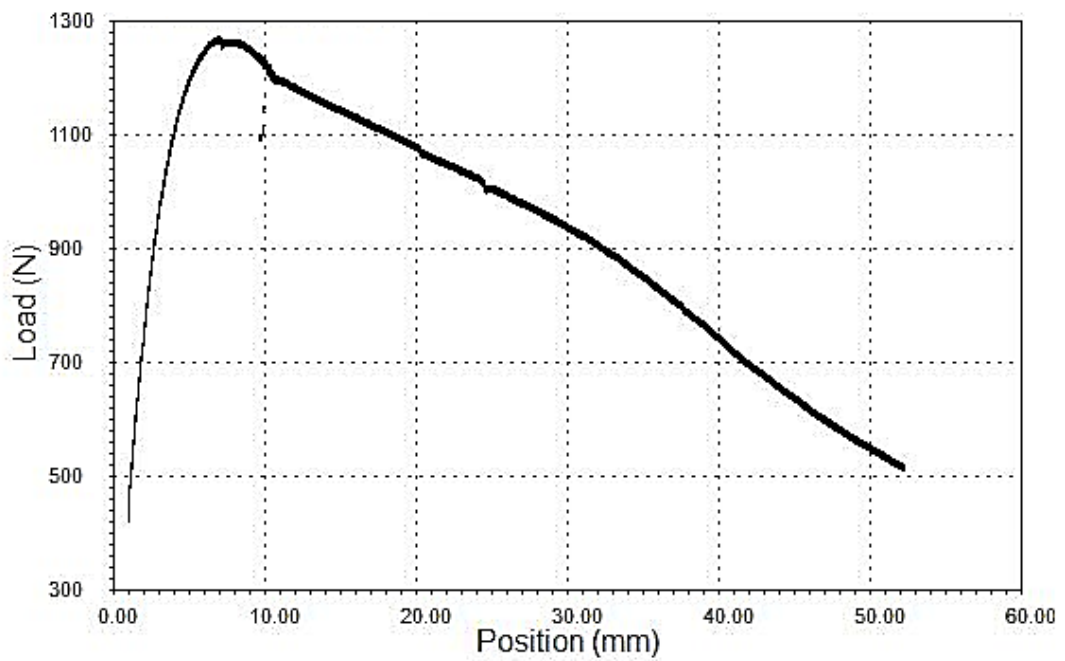


Figura 52. Deflexión de la probeta sumergida por 3 días aplicada pintura anticorrosiva

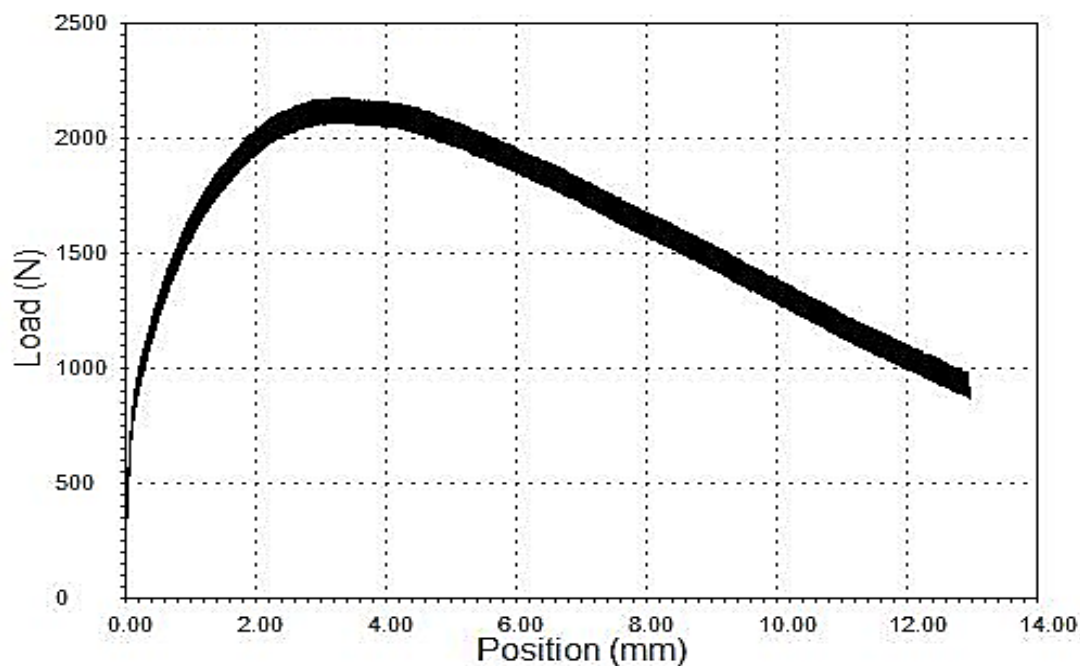


Figura 53. Deflexión de la probeta sumergida por 3 días aplicada bate piedra

Tabla 10. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 3 días

Muestras a 3 días	Fuerza máxima resistida (N)
Probeta sin anticorrosivo	1057
Probeta con pintura anticorrosiva	1294
Probeta con bate piedra	2204

Como se puede reconocer en los resultados de las pruebas realizados a los 3 días en la maquina universal de la UPS, las probetas no tienen la misma resistencia a la flexión como muestra la Tabla 10 la probeta que fue previamente protegida con bate piedra es la que mayor carga resiste con esto se concluye que esta probeta tendrá mayor vida útil.

3.2.2. Diagramas carga deformación obtenidas a los 7 días

Mediante los ensayos que se realizaron a las probetas sumergidas a los 7 días estos arrojaron los siguientes resultados como se muestran en las Figuras 54, Figura 55 y Figura 56 y así ratificando nuevamente que las probetas cubiertas por bate piedra son las más resistentes como muestra la Tabla 11 donde se aprecia cada una de las fuerzas aplicadas.

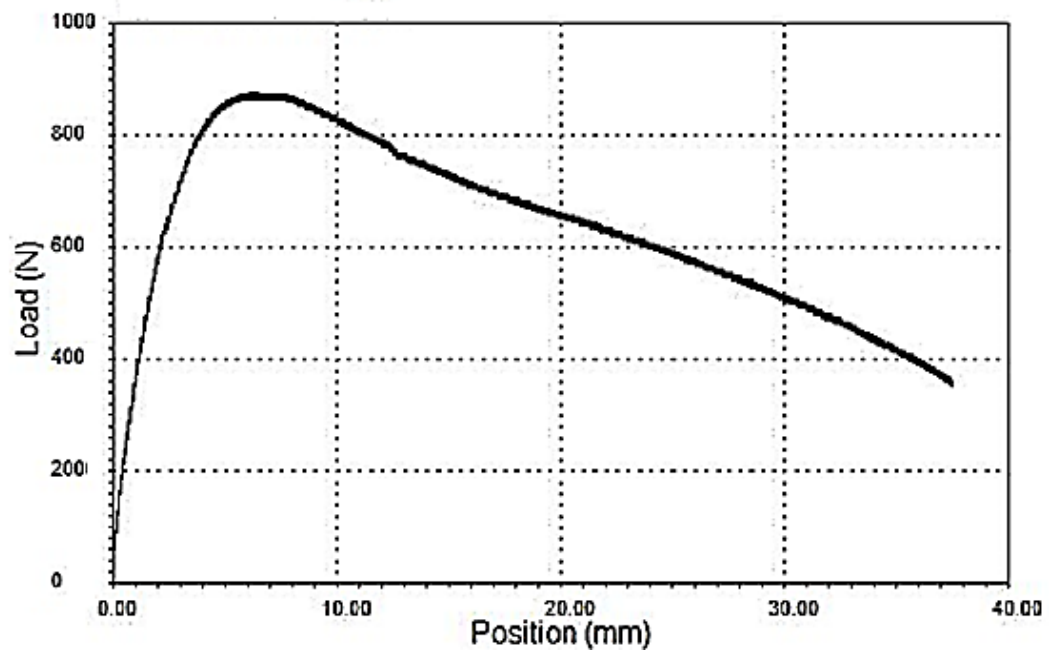


Figura 54. Deflexión de la probeta sumergida por tres 7 sin anticorrosivos

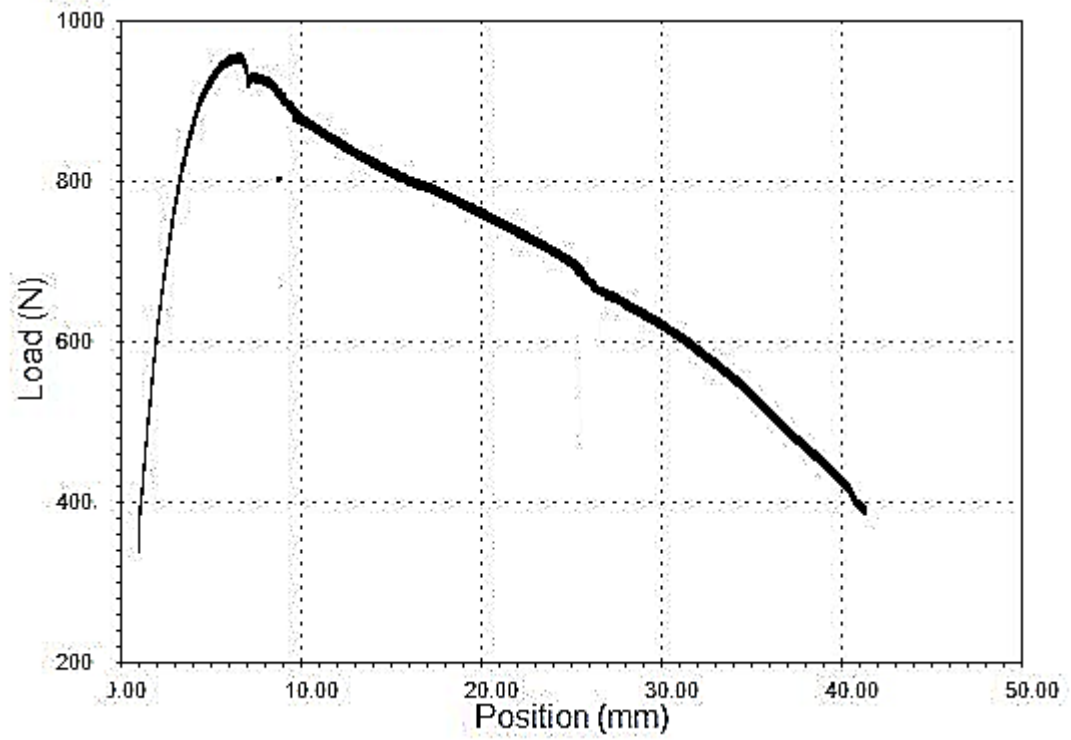


Figura 55. Deflexión de la probeta sumergida por 7 días aplicada pintura anticorrosiva

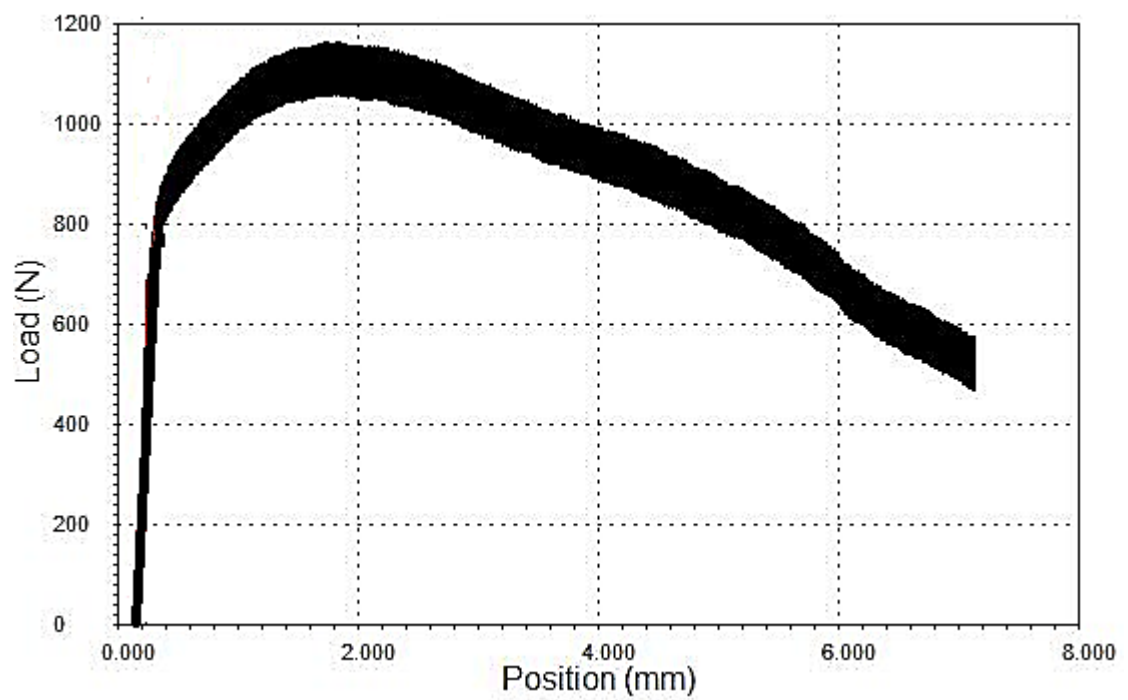


Figura 56. Deflexión de la probeta sumergida por 7 días aplicada bate piedra

Tabla 11. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 7 días

Muestras a 7 días	Fuerza máxima resistida (N)
Probeta sin anticorrosivo	886
Probeta con pintura anticorrosiva	979
Probeta con bate piedra	1187

En el segundo ensayo de la máquina universal de la UPS que fue realizada a los 7 días la probeta que fue protegida con bate piedra fue la que mayor carga resiste, pero esta resistió menor carga que la probeta que fue hecha las pruebas a los 3 días con esto se concluye que el bate piedra es el mejor anticorrosivo pero que conforme pasa mayor tiempo en la salmuera las probetas resisten menor carga.

3.3.Curvas carga deformación obtenidas en la máquina universal de la Escuela Politécnica Nacional

3.3.1. Diagrama carga deformación obtenidas a los 3 días

Para los resultados de estos ensayos se realizaron las pruebas a los 3 días de haber sido sumergidas las probetas, con los cuales se obtuvo la siguiente gráfica carga deformación y mediante la Tabla 12 se observa la máxima carga de cada una de las probetas sometidas a flexión.

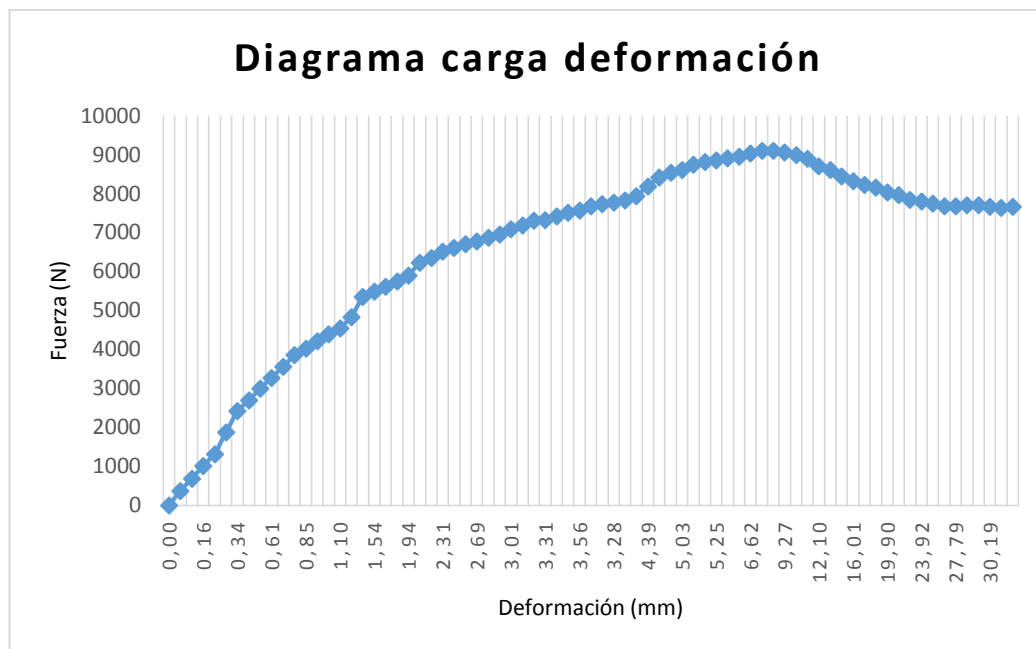


Figura 57. Deflexión de la probeta sumergida por 3 días sin anticorrosivos

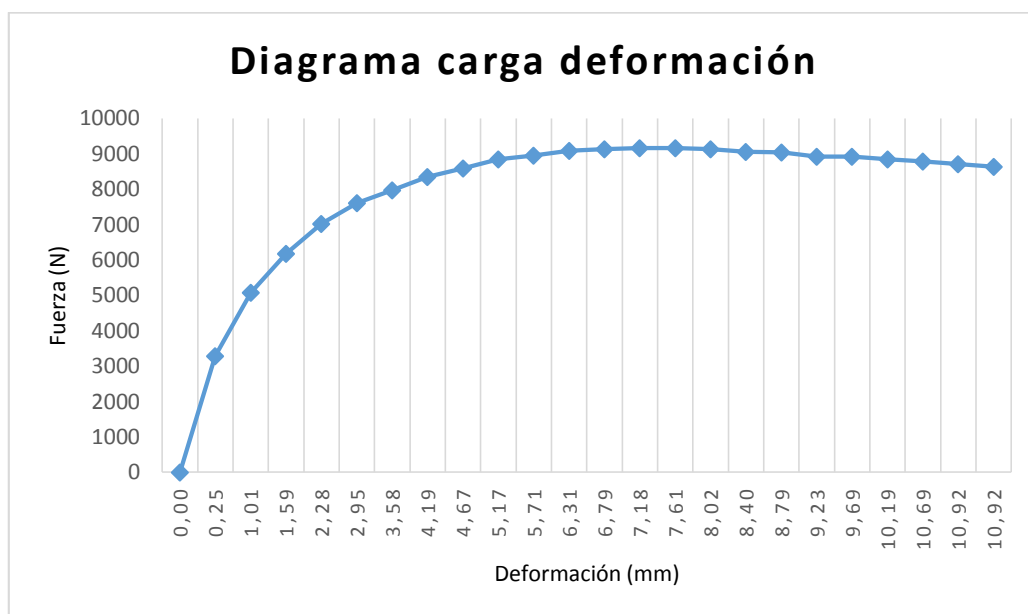


Figura 58. Deflexión de la probeta sumergida por 3 días aplicada pintura anticorrosiva

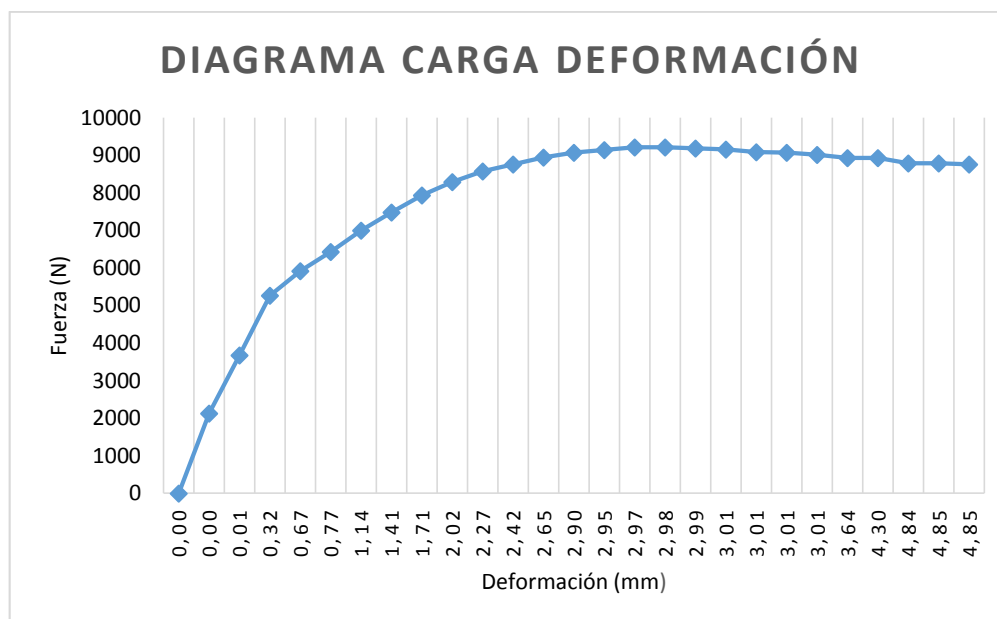


Figura 59. Deflexión de la probeta sumergida por 3 días aplicada bate piedra

Tabla 12. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 3 días

Muestras a 3 días	Fuerza máxima resistida (N)
Probeta sin anticorrosivo	9104
Probeta con pintura anticorrosiva	9152
Probeta con bate piedra	9204

Esta prueba fue realizada en la máquina universal de la EPN en el cual los resultados fueron que la probeta que está protegida con bate piedra es la que mayor carga resiste con una carga de 9204 N contra los 9104 N que resiste una probeta sin corrosión con esto se coincide que la corrosión afecta más a la probeta sin anticorrosivo.

3.3.2. Diagramas carga deformación obtenidas a los 7 días

Para los resultados de estos ensayos se realizó las pruebas a los 7 días de haber sumergido las probetas y se obtuvieron las siguientes gráficas carga deformación y mediante la Tabla 13 se observa el máximo esfuerzo de cada una de las probetas sometidas a flexión.

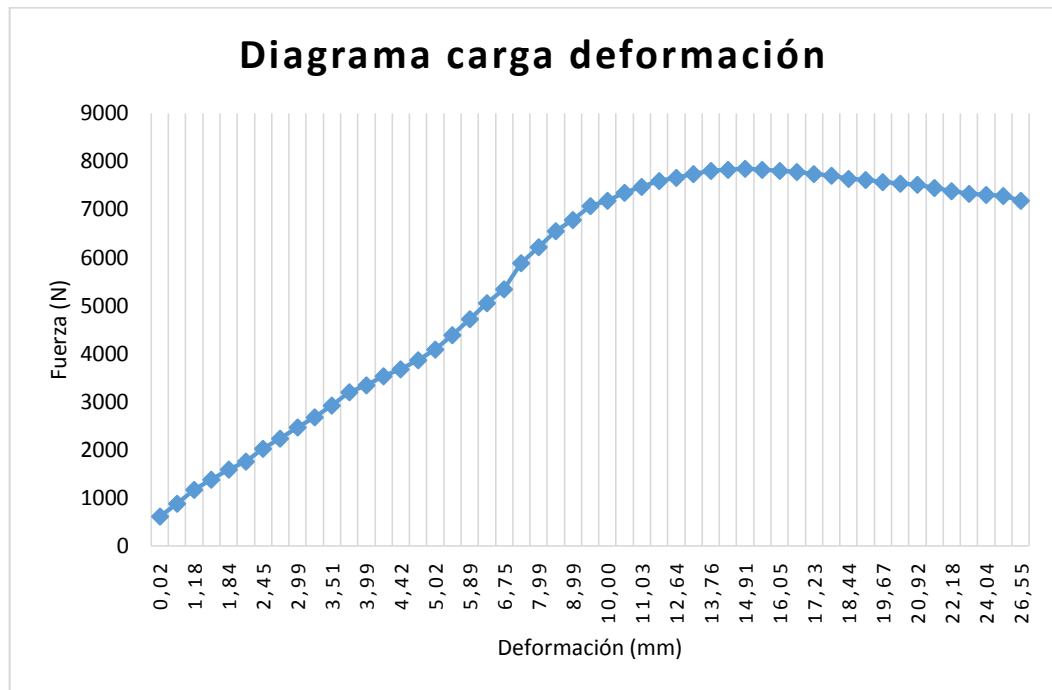


Figura 60. Deflexión de la probeta sumergida por 7 días sin anticorrosivos

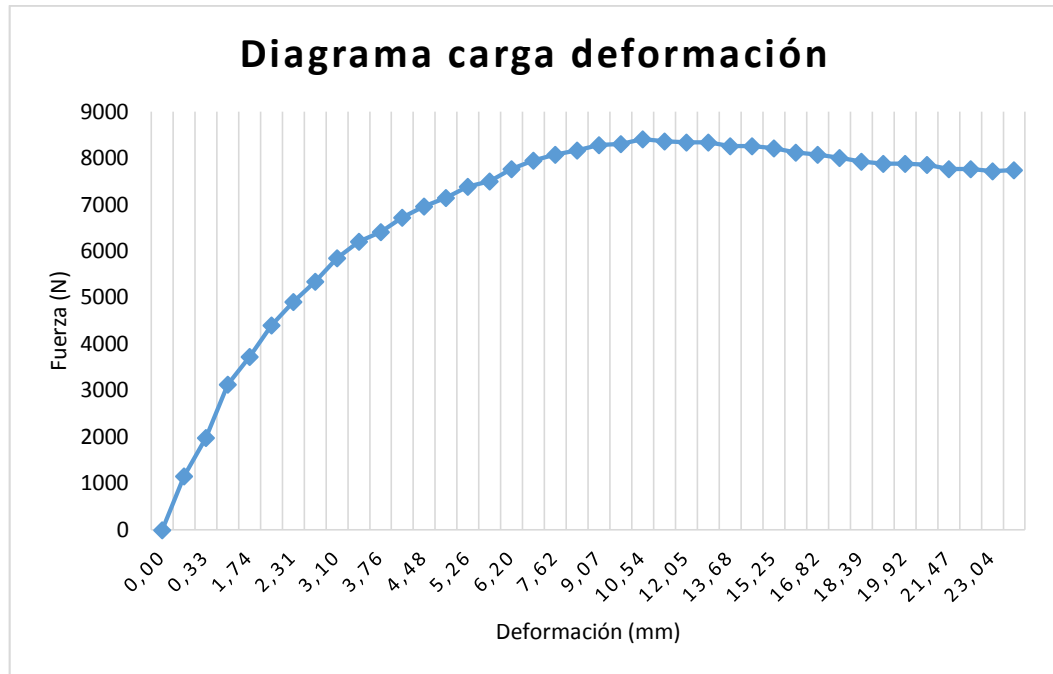


Figura 61. Deflexión de la probeta sumergida por 7 días aplicada pintura anticorrosiva

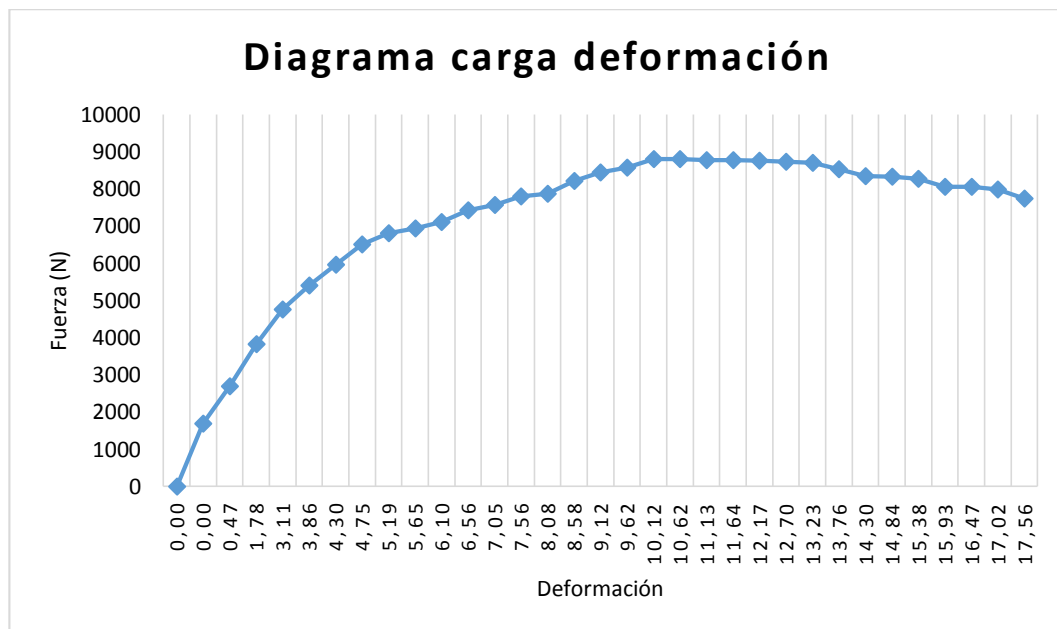


Figura 62. Deflexión de la probeta sumergida por 7 días aplicada bate piedra

Tabla 13. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 7 días

Muestras a 7 días	Fuerza máxima resistida (N)
Probeta sin anticorrosivo	7850
Probeta con pintura anticorrosiva	8402
Probeta con bate piedra	8804

3.3.3. Diagramas carga deformación obtenidas a los 14 días

En el ensayo realizado a los 14 días se obtuvo que el bate piedra es el que tiende a proteger más el material asiéndolo más resistente a la flexión, con la Tabla 14 se puede ver las diferentes cargas que resisten las diferentes probetas.

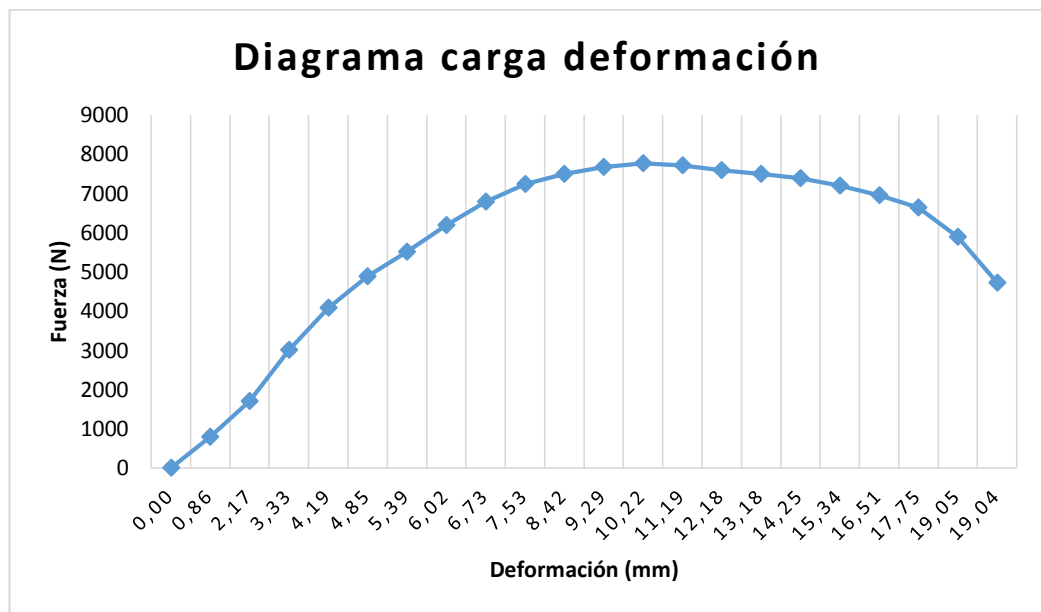


Figura 63. Deflexión de la probeta sumergida por 14 días sin anticorrosivos

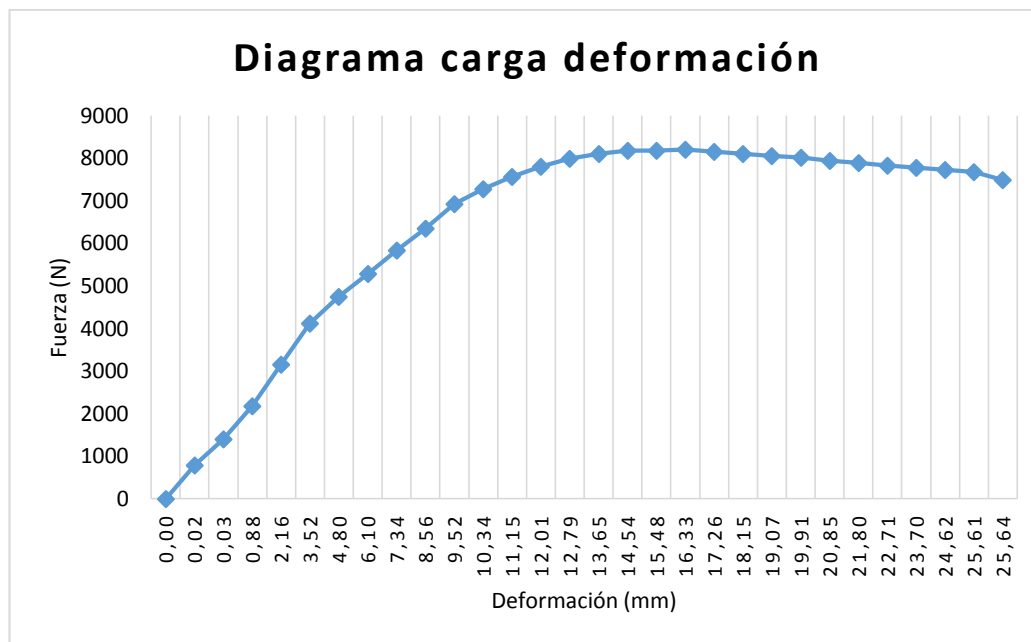


Figura 64. Deflexión de la probeta sumergida por 14 días aplicada pintura anticorrosiva

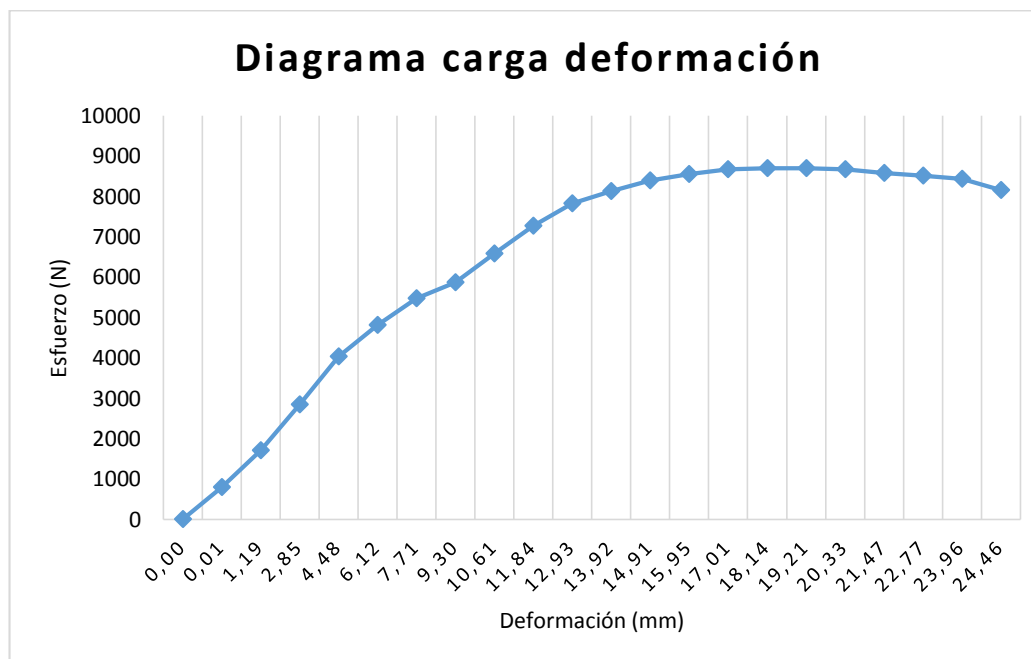


Figura 65. Deflexión de la probeta sumergida por 14 días aplicada bate piedra

Tabla 14. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 14 días

Muestras a 14 días	Fuerza máxima resistida (N)
Probeta sin anticorrosivo	7761
Probeta con pintura anticorrosiva	8198
Probeta con bate piedra	8694

3.3.4. Diagramas carga deformación obtenidas a los 21 días

El último ensayo se realizó a los 21 días de haber sumergido las probetas en el medio acuoso, en la Tabla 15 se pudo confirmar que desde la primera prueba hasta la última ha ido mejorando la carga aplicada, siendo siempre el bate piedra el anticorrosivo que protege de mejor manera a la probeta.

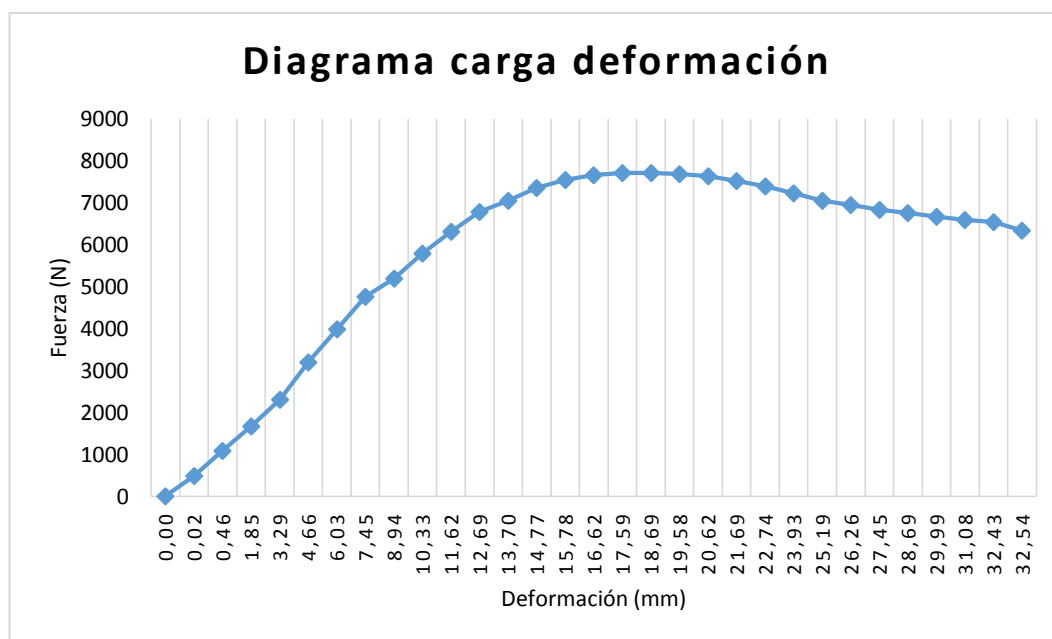


Figura 66. Deflexión de la probeta sumergida por 21 días sin anticorrosivos

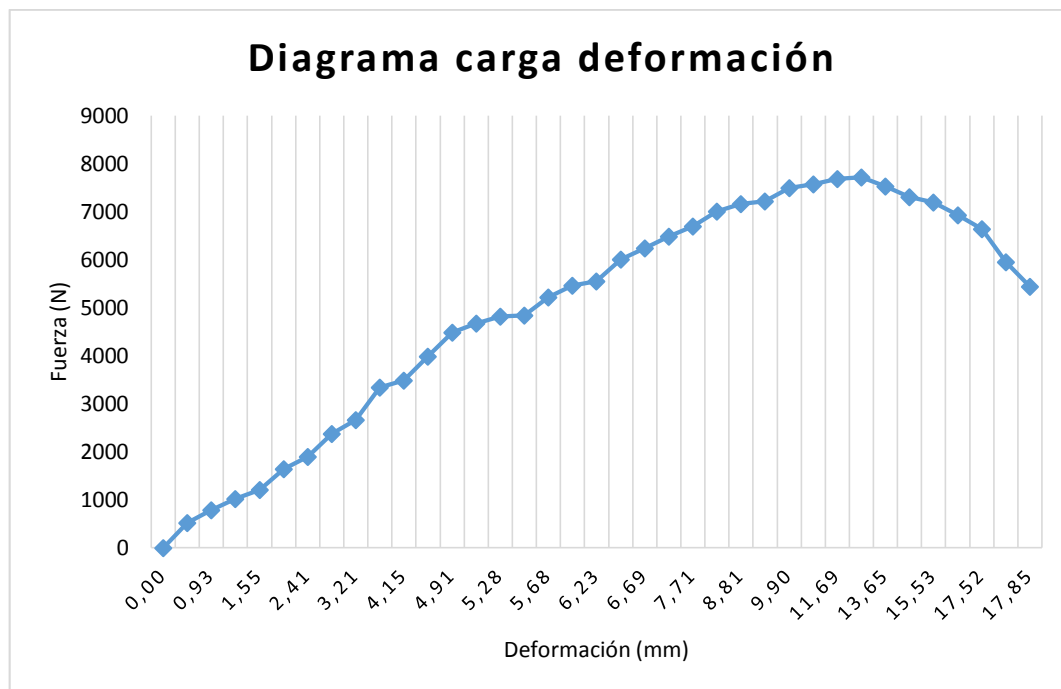


Figura 67. Deflexión de la probeta sumergida por 21 días aplicada pintura anticorrosiva

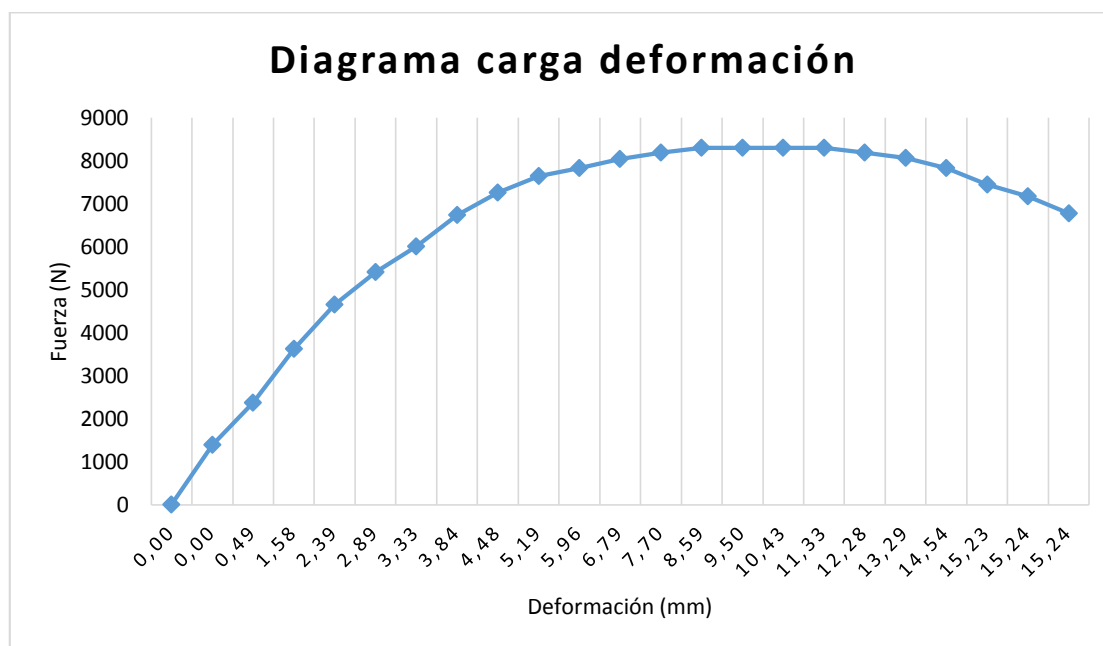


Figura 68. Deflexión de la probeta sumergida por 21 días aplicada bate piedra

Tabla 15. Comparación de las cargas máximas de las probetas a los 21 días

Muestras a 21 días	Fuerza máxima resistida (N)
Probeta sin anticorrosivo	7701
Probeta con pintura anticorrosiva	7709
Probeta con bate piedra	8300

3.3.5. Comparación de los resultados a 49 días de envejecimiento acelerado

Para poder apreciar de mejor manera el proceso de corrosión en el perfil estudiado se proyectaron mediante Microsoft Excel los posibles resultados a 49 días, en la Tabla 16 se muestran los datos proyectados.

Tabla 16. Proyección a 49 días de envejecimiento acelerado

	Días	Bate piedra (N)	Pintura anticorrosiva (N)	Sin anticorrosivo (N)
Datos Obtenidos	3	9204	9152	9104
	7	8804	8402	7850
	14	8694	8198	7761
	21	8300	7709	7701
Proyección Obtenida	28	7995	7155	6871
	35	7743	6815	6764
	42	7393	6298	6311
	49	7114	5851	5824

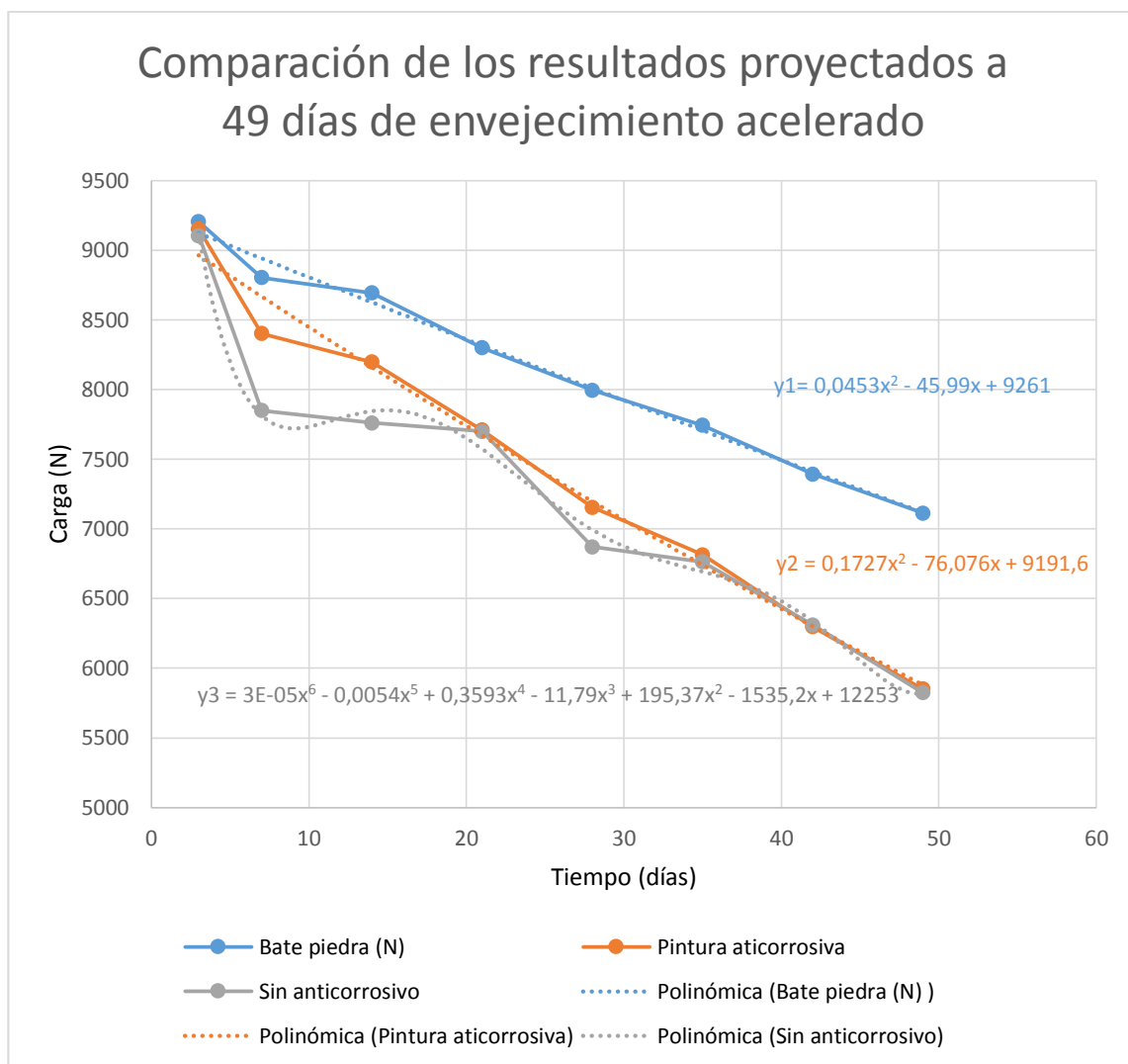


Figura 69. Comparación de los resultados proyectados a 49 días de envejecimiento acelerado

En la Figura 69 las curvas polinómicas correspondientes a la carga con respecto al tiempo de envejecimiento acelerado sirven para poder obtener la posible carga a cualquier día con las siguientes ecuaciones.

Ec. 1 Curva polinómica del Bate piedra

$$Y_1 = 0.0453x^2 - 45.99x + 9261$$

Ec. 2 Curva polinómica de la pintura anticorrosiva

$$Y_2 = 0.1727x^2 - 76.076x + 9191.6$$

Ec. 3 Curva polinómica sin pintura anticorrosiva

$$Y_3 = 3E - 05x^6 - 0.0045x^5 + 3.3593x^4 - 11.79x^3 + 195.37x^2 + 1535.2x + 12253$$

3.4.Masas de las probetas del perfil G para coreas de techos

Mediante la balanza electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana se realizó un análisis de pérdida de masa tomando datos antes de sumergirlas y posterior mente pesándolas después de los días establecidos a los cuales las probetas salían de la salmuera.

3.4.1. Masa de las probetas sumergidas a los 3 días

En este análisis de pérdida de masa se pudo comprobar que no todas las probetas pierden su masa de igual manera ya que como se puede ver en la Tabla 16 la probeta protegida con bate piedra es la que menor peso pierde, seguido de la probeta cubierta con pintura anticorrosiva y siendo la que se encuentra sin recubrimiento las que más peso perdió.

Tabla 17. Masa de las probetas a los 3 días en salmuera

Probetas	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Diferencia de peso (kg)
Sin anticorrosivo	3,788	3,781	0,007
Con pintura	3,929	3,925	0,004
Con bate piedra	3,989	3,987	0,002

3.4.2. Masa de las probetas sumergidas a los 7 días

Para el análisis a los 7 días se pudo observar que la pérdida de masa va aumentando, pero de la misma manera que la pérdida a los 3 días a los 7 días pierde menos masa la probeta cubierta con bate piedra como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 18. Masa de las probetas a los 7 días en salmuera

Probetas	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Diferencia de peso (kg)
Sin anticorrosivo	3,772	3,754	0,018
Con pintura	3,090	3,081	0,009
Con bate piedra	3,985	3,981	0,004

3.4.3. Masa de las probetas sumergidas a los 14 días

Para el análisis de los 14 días se puede apreciar que se mantiene la tendencia de pérdida de peso siendo el bate piedra quien nuevamente es el que más protege a la probeta de la corrosión como indican los datos de la Tabla 18.

Tabla 19. Masa de las probetas a los 14 días en salmuera

Probetas	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Diferencia de peso (kg)
Sin anticorrosivo	3,870	3,835	0,035
Con pintura	3,815	3,796	0,019
Con bate piedra	3,821	3,814	0,007

3.4.4. Masa de las probetas sumergidas a los 21 días

Como se muestra en la Tabla 19, el análisis de los 21 días se puede garantizar que la tendencia de los anteriores días se mantiene siendo el bate piedra el que más protege seguido de la pintura anticorrosiva y por último los que no tienen recubrimiento son los que más rápido pierden su masa.

Tabla 20. Masa de las probetas a los 21 días en salmuera

Probetas	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Diferencia de peso (kg)
Sin anticorrosivo	3,806	3,752	0,054
Con pintura	3,844	3,818	0,026
Con bate piedra	3,806	3,792	0,014

3.5.Composición química de una correa G de fabricación ecuatoriana

Mediante el Espectrofotómetro de la Universidad Politécnica Salesiana se realizó ensayos para determinar si la composición química del perfil G de las probetas usadas en la investigación tenían un cambio en su composición por efecto de estar sometidas a envejecimiento con salmuera.

3.5.1. Composición química de la probeta antes de ser sometida a envejecimiento

Con el Espectrofotómetro se logró determinar la composición química de cómo se encuentra constituida el perfil G para correas de techos en el mercado ecuatoriano la composición química se detalla con cada uno de sus porcentajes como muestra la Tabla 20.

Tabla 21. Composición química de un perfil G para correas de techos

Average	Element	Burn 1	Burn 2	Burn 3	Burn 4
98,9	Fe	98,9	98,9	98,9	98,9
0,171	C	0,158	0,165	0,18	0,181
0,136	Si	0,136	0,136	0,136	0,135
0,357	Mn	0,355	0,356	0,359	0,359
0,0148	P	0,0146	0,0142	0,0151	0,0152
0,034	S	0,0336	0,0341	0,0338	0,00343
0,0021	Pb	0,0021	0,0025	0,0019	0,0019
0,323	Cr	0,323	0,321	0,325	0,324
0,0015	Mo	0,0017	0,0017	0,0015	0,0011
0,008	Ni	0,0087	0,0063	0,0097	0,0075
0,001	Al	0,001	0,001	0,001	0,001
0,001	Co	0,001	0,001	0,001	0,001
0,0071	Cu	0,0072	0,0071	0,007	0,0071
0,0005	Nb	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
0,0005	Ti	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006
0,0019	V	0,0021	0,0019	0,0021	0,0016
0,01	w	0,01	0,01	0,01	0,01
0,0011	Sn	0,001	0,0014	0,0011	0,001
0,001	B	0,0009	0,0009	0,0011	0,001
0,0001	Ca	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
0,0027	Zr	0,0025	0,0026	0,0028	0,0028
0,0015	Zn	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
0,0148	Bi	0,015	0,015	0,0143	0,0147
0,0023	As	0,0027	0,0021	0,0025	0,002
0,0122	Se	0,0116	0,0121	0,0127	0,0125
0,003	Sb	0,003	0,003	0,003	0,003

3.5.2. Composición química de la probeta sumergida en salmuera 21 días

Los datos de la Tabla 21 muestran los porcentajes de la composición química del perfil después de haber permanecido sumergido 21 días en salmuera.

Tabla 22. Composición química de un perfil G para correas de techos sumergida 21 días en salmuera

Average	Element	Burn 1	Burn 2
96,8	Fe	96,3	97,3
1,5	C	1,5	1,5
0,0576	Si	0,0559	0,0594
0,495	Mn	0,481	0,508
0,016	P	0,0168	0,0152
0,0589	S	0,0631	0,0547
0,0186	Cr	0,0186	0,0186
0,001	Mo	0,001	0,001
0,0065	Ni	0,0072	0,0058
0,088	Al	0,0984	0,0776
0,001	Co	0,001	0,001
0,007	Cu	0,0074	0,0067
0,0005	Nb	0,0005	0,0005
0,0022	Ti	0,0029	0,0016
0,0005	V	0,0005	0,0005
0,011	W	0,0215	0,01
0,0053	Pb	0,0079	0,0027
0,001	Sn	0,001	0,001
0,0014	B	0,0015	0,0013
0,008	Ca	0,008	0,008
0,0009	Zr	0,0011	0,0007
0,0024	Zn	0,0025	0,0023
0,0086	Bi	0,011	0,0062
0,0015	As	0,0031	0,001
0,0083	Se	0,0099	0,0067
0,003	Sb	0,003	0,003

3.6. Análisis de costo beneficio de la utilización de recubrimientos anticorrosivos

Según Koch [25], los costos que influyen en la corrosión metálica en el 2013 se estiman en USD \$2,5 billones anuales, lo que equivale al 3,4 % del PIB mundial. Ahora bien, si se usa el control de la corrosión existe una reducción del 15 % o el 35% en el mejor de los casos a nivel mundial.

Con estos antecedentes se estimará un ahorro tentativo en la prevención de la corrosión utilizando recubrimientos anticorrosivos, pero para obtener un alcance óptimo de lo que se puede ahorrar en corrosión se debe implementar un Sistema de Gestión de la Corrosión.

Según el Banco Mundial [26], el PIB en el Ecuador es de 97.802 Mil millones de dólares en el año 2016 y el 3,4 % del PIB va ser los costos debido a la corrosión que serán 3332 millones En la siguiente Tabla 22 se analizará los costos si se hiciera el control de corrosión.

Tabla 23. Ahorro mínimo y máximo del control de la corrosión

Gastos normales debido a la corrosión en USD (Gn)	Control de corrosión mínimo en USD ($C_{mi}=G_n-15\% G_n$)	Control de corrosión máximo en USD ($C_{ma}=G_n-35\% G_n$)	Ahorro mínimo en USD ($A_{mi}=G_n-C_{mi}$)	Ahorro máximo en USD ($A_{ma}=G_n-C_{ma}$)
3332 Millones	2832 Millones	2165 Millones	499 Millones	1166 Millones

Sea de la manera mínima o máxima el ahorro es notable ya que con un control de corrosión mínimo se ahorra USD \$ 499 Millones y con un control máximo es de USD \$ 1166 Millones anuales.

3.7. Análisis de costo beneficio entre los recubrimientos anticorrosivos

Se analizará el costo de la utilización de cada anticorrosivo utilizado en la investigación, se utilizaron dos marcas más utilizadas: Anticorrosivo Unidas y bate piedra Cóndor.

A continuación, en la Tabla 23 y 24 se detallarán las especificaciones técnicas de cada anticorrosivo según su fabricante.

Tabla 24. Especificaciones del Anticorrosivo Unidas

Rendimiento teórico	Precio	Carga máxima resistida a los 21 días
42 m ² /galón por cada mano	\$15.34/galón	7709 N

Tabla 25. Especificaciones del Bate piedra Cóndor

Rendimiento teórico	Precio	Carga máxima resistida a los 21 días
12 m ² /galón por cada mano	\$22.00/galón	8300 N

A simple vista el precio y el rendimiento teórico del bate piedra no conviene en comparación con el anticorrosivo, pero en resistencia y duración en un medio corrosivo aporta más el bate piedra.

Hay una diferencia de 30 galones por cada mano utilizada y un ahorro de \$6.66 en cada galón adquirido entre el anticorrosivo y el bate piedra. A pesar de esto existe una diferencia de 591 N que equivale al 7.12 % más de resistencia del bate piedra contra el anticorrosivo, en un proyecto estructural conviene invertir más y no arriesgar en gastos debido a la corrosión y pérdidas humanas que son imposibles de recuperarlas

CONCLUSIONES

- Existe una disminución de resistencia a la flexión en los ensayos realizados: en la probeta con bate piedra existe una disminución del 9.8 %, en el perfil recubierto por anticorrosivo del 15.7 % y la probeta sin ningún recubrimiento una reducción del 15.4 %; quedando el bate piedra como el anticorrosivo que evita de mejor manera la disminución de la resistencia a la carga.
- En los resultados proyectados a 49 días de envejecimiento acelerado, se observa en el día 35 que la curva de la pintura anticorrosiva iguala parcialmente a la curva sin anticorrosivo. Se concluye así que a partir de este día la pintura desaparece casi en su totalidad generando más puntos de corrosión en el perfil.
- Con la comparación de los resultados proyectados a 49 días se obtuvieron 3 curvas polinómicas correspondientes a la carga con respecto al tiempo de envejecimiento acelerado, estas sirven para poder obtener la carga a cualquier día de corrosión acelerada con las siguientes ecuaciones:

Ec. 1 Curva polinómica del Bate piedra

$$Y_1 = 0.0453x^2 - 45.99x + 9261$$

Ec. 2 Curva polinómica de la pintura anticorrosiva

$$Y_2 = 0.1727x^2 - 76.076x + 9191.6$$

Ec. 3 Curva polinómica sin pintura anticorrosiva

$$Y_3 = 3E - 05x^6 - 0.0045x^5 + 3.3593x^4 - 11.79x^3 + 195.37x^2 + 1535.2x + 12253$$

- El procedimiento de envejecimiento acelerado para las probetas del perfil G 100x50x15x2 se realizó a 3,7,14,21 días basado en la norma ASTM B117 – 16 y ASTM G31 – 12.

- A partir de los resultados de laboratorio de metalurgia se pudo distinguir 2 cosas claras. Mediante el microscopio se puede observar que a partir del día 7 empiezan a aparecer picaduras y cambios de aspecto superficial en diferentes partes de las probetas y con el pasar de los días estas empiezan a aumentar progresivamente. Los resultados del espectrofotómetro muestran un aumento en el porcentaje del carbono de 0.171 % a 1.5 % concluyendo que el perfil G quedo frágil
- Por el proceso de corrosión el cambio de masa es evidente siendo la probeta sin protección la más crítica con una disminución de 1.41% en el transcurso del día 3 al día 21 de envejecimiento.
- Los costos por corrosión global en el Ecuador son de USD \$3,332 millones anuales, mediante un adecuado control del mismo se puede obtener disminuciones del 15 % hasta 35% en los mejores casos teniendo un ahorro USD \$1,166 Millones
- Existe un ahorro de \$ 6.66 en cada galón utilizado entre el anticorrosivo y el bate piedra, pero un 7.12 % de más resistencia con el uso del bate piedra y el anticorrosivo. Aunque el anticorrosivo está cercano a la resistencia del bate piedra no se debe arriesgar pérdidas en costos de mantenimiento y vidas humanas.

RECOMENDACIONES

- Realizar un periodo de pruebas más extenso para obtener resultados más confiables y con mejor margen de error, debido que el factor tiempo es uno de los parámetros más importantes en la investigación.
- Realizar este estudio con otros tipos de perfiles por ejemplo en ángulos, cuadrados rectangulares, IPN, IPE, para comparar los resultados con los del perfil G usado en esta investigación.
- Seguir los pasos de aplicación que indica el fabricante del producto ya sea para el anticorrosivo o el bate piedra, en el caso de los dos productos la forma más adecuada de aplicarla es mediante aspersion con aire ya que la pintura es atomizada de mejor manera y tiene una superficie de acabado uniforme.
- En un miembro estructural se recomienda aplicar una capa de pintura anticorrosiva como fondo y una capa externa de bate piedra como acabado, logrando con esto una mayor resistencia a la corrosión.
- En los miembros soldados de una estructura metálica, realizar una inspección en los cordones de soldadura ya que es el lugar donde se forma la corrosión, realizar la limpieza con un cepillo de acero y proceder a pintar con un anticorrosivo como fondo.
- Tener en cuenta en que ambientes va a estar la estructura metálica, ya que de eso depende la elección de los recubrimientos, para un ambiente severo se recomienda utilizar anticorrosivos epóxicos, poliuretanos, alquídicos y látex en cambio para un ambiente moderado se debe utilizar anticorrosivos de poliuretano con base solvente.

- Para la reparación o cambio de un miembro estructural afectado por corrosión se recomienda primero realizar un ensayo no destructivo, el más utilizado es el de ultrasonido donde se puede cuantificar discontinuidades y pérdidas de espesor a causa de la corrosión, para luego tomar los correctivos pertinentes ya sea en la reparación o el cambio definitivo de la sección estructural.

REFERENCIAS

- [1] C. Del Fraxno y Palacio, Memoria sobre la teoría y fabricación del acero en general y de su aplicacion en armas blancas, Barcelona: D. Eduardo Baeza, 1850.
- [2] NACE INTERNATIONAL, Curso de corrosión básica, Quito: NACE, 2004.
- [3] J. E. Neely, Metalurgia y Materiales Industriales, México, D.F: Limusa, S.A, 2002.
- [4] J. C. McCormac, Diseño de Estructuras Metálicas, Método ASD, México, D.F.: Alfaomega Grupo Editor, 1999.
- [5] American Iron and Steel Institute , Especificación para el diseño de miembros estucturales de acero, Washington: American Iron and Steel Institute , 1996.
- [6] ArcelorMittal, «Constructalia,» 2016. [En línea]. Available: http://www.constructalia.com/espanol/productos/estructuras/perfiles_ligeros/correas#.WMIusG81_IX. [Último acceso: 13 Marzo 2017].
- [7] NOVACERO, «CORREA G,» novacero.com, 2017. [En línea]. Available: <http://novacero.com/productos-y-servicios/productos/item/30-correa-g.html#usos-y-aplicaciones>.
- [8] DIPAC, «Correa G,» dipacmanta.com, 2017. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales/correa-g>.
- [9] IPAC, «Perfiles Estructurales Correas,» ipac-acero.com, [En línea]. Available: <http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=16>.
- [10] INEN, «PERFILES ABIERTOS DE ACERO CONFORMADOS EN FRÍO,» Quito, 2015.
- [11] J. Wiley, Sons y Inc, GREEN CORROSION INHIBITORS, 2011.
- [12] W. F. Smith y J. Hashemi, Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, México: Mc Graw Hill, 2010.
- [13] P. A. Schweitzer, Fundamentals of corrosion mechanisms, causes, and preventative, CRC Press, 2010.
- [14] W. Von Baeckmann, W. Schwenk y W. Prinz, Handbook of cathodic corrosion protection, Elsevier, 1997.

- [15] D. R. Askeland, P. P. Fulay y W. J. Wright, Ciencia e ingeniería de materiales, México D.F: CENGAGE Learning, 2013.
- [16] W. D. Callister, Jr, Introducciòn a la Ciencia e Ingenieria de los materiales, Barcelona: Revetè, S.A, 2003.
- [17] F. Domingo Pannoni, 2015. [En línea]. Available: <https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/corrosion-fuego.pdf>. [Último acceso: 11 Abril 2017].
- [18] E. Bardal, Corrosion and Protection, London: Springer, 2004.
- [19] ASTM B117 - 16, «Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus,» United States.
- [20] ASTM G31 - 12, «Standard Guide for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals,» United States.
- [21] ASTM C293 -02, «Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading),» United States.
- [22] A. D7972-14, «Standard Test Method for Flexural Strength of Manufactured Carbon and Graphite Articles Using Three-Point Loading at Room Temperature,» United States.
- [23] ASTM C1609M - 12, «Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading),» United States, 2012.
- [24] A. D. -. 14, «Standard Test Method for Flexural Strength of Manufactured Carbon and Graphite Articles Using Three-Point Loading at Room Temperature,» United States.
- [25] G. Koch, «Cost of corrosion,» *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies*, n° 1, pp. 3-30, 2017.
- [26] Banco Mundial, «Ecuador,» Grupo Banco Mundial, 2017. [En línea]. Available: <https://datos.bancomundial.org/pais/ecuador>.

ANEXOS

Anexo A: Tabla de datos de la máquina universal de la EPN para realizar el diagrama esfuerzo deformación a 3 días sumergidas en salmuera.

Tabla A:1 Probeta sin recubrimiento

N	mm	s
0,00	0,00	9,99
368,67	0,04	19,99
689,87	0,11	24,99
1011,07	0,16	29,99
1308,54	0,22	34,99
1879,74	0,28	39,99
2427,21	0,34	44,99
2698,42	0,42	49,99
2993,35	0,52	54,99
3264,55	0,61	59,99
3559,49	0,70	64,99
3854,43	0,77	69,99
4025,63	0,85	74,99
4220,56	0,93	79,99
4391,77	1,01	84,99
4539,23	1,10	89,99
4829,04	1,25	94,99
5347,78	1,40	99,99
5490,18	1,54	104,99
5608,85	1,67	109,99
5751,26	1,80	114,99
5893,66	1,94	119,99
6232,60	2,06	124,99
6351,27	2,18	129,99
6517,41	2,31	134,99
6612,34	2,45	139,99
6707,28	2,56	144,99
6778,48	2,69	149,99
6873,42	2,80	154,99
6944,62	2,90	159,99
7087,02	3,01	164,99
7181,96	3,12	169,99

7300,63	3,24	174,99
7324,36	3,31	179,99
7419,30	3,39	184,99
7514,24	3,48	189,99
7561,70	3,56	194,99
7682,92	3,57	199,99
7726,60	3,30	214,99
7773,87	3,28	219,99
7825,85	3,69	224,99
7937,90	4,06	229,99
8186,66	4,39	234,99
8418,53	4,51	239,99
8539,85	4,91	259,99
8607,58	5,03	264,99
8743,66	5,39	269,99
8805,04	4,75	274,99
8856,31	5,25	279,99
8912,96	5,58	284,99
8950,94	6,01	289,99
9036,38	6,62	294,99
9104,42	7,38	299,99
9104,42	8,57	304,99
9056,95	9,27	309,99
8985,75	10,07	314,99
8890,81	11,05	319,99
8700,94	12,10	324,99
8606,00	13,35	329,99
8439,87	14,69	334,99
8321,19	16,01	339,99
8226,26	17,32	344,99
8155,06	18,59	349,99
8036,39	19,90	354,99
7965,18	21,26	359,99
7846,51	22,60	364,99
7799,05	23,92	369,99
7751,58	25,25	374,99
7680,38	26,54	379,99
7680,38	27,79	384,99
7704,11	28,88	389,99
7704,11	29,95	394,99
7656,30	30,19	399,99
7632,57	30,19	404,99
7656,30	30,19	409,99

Tabla A:2 Probeta recubierta con pintura

N	mm	s
0,00	0,00	0,00
3284,59	0,25	5,00
5067,21	1,01	10,00
6172,39	1,59	15,00
7017,85	2,28	20,00
7610,75	2,95	25,00
7966,48	3,58	30,00
8345,93	4,19	35,00
8583,09	4,67	40,00
8843,96	5,17	45,00
8938,83	5,71	50,00
9081,12	6,31	55,00
9128,55	6,79	60,00
9152,27	7,18	65,00
9152,27	7,61	70,00
9128,55	8,02	75,00
9057,40	8,40	80,00
9033,69	8,79	85,00
8915,11	9,23	90,00
8915,11	9,69	95,00
8843,96	10,19	100,00
8772,82	10,69	105,00
8701,67	10,92	110,00
8630,52	10,92	115,00

Tabla A:3 probeta recubierta con bate piedra

N	mm	s
0,00	0,00	0,00
2120,59	0,00	5,00
3668,02	0,01	10,00
5268,42	0,32	15,00
5908,66	0,67	20,00
6430,34	0,77	25,00
6999,45	1,14	30,00
7473,71	1,41	35,00
7924,25	1,71	40,00
8279,95	2,02	45,00
8564,50	2,27	50,00
8754,20	2,42	55,00
8943,90	2,65	60,00
9062,47	2,90	65,00
9133,61	2,95	70,00
9204,75	2,97	75,00
9204,75	2,98	80,00
9181,03	2,99	85,00
9157,32	3,01	90,00
9086,18	3,01	95,00
9062,47	3,01	100,00
9015,04	3,01	105,00
8920,19	3,64	110,00
8920,19	4,30	115,00
8777,92	4,84	120,00
8777,92	4,85	125,00
8754,20	4,85	130,00

**Anexo B: Tabla de datos de la máquina universal de EPN para realizar el
diagrama esfuerzo deformación a 7 días sumergidas en salmuera.**

Tabla B:1 Probeta sin recubrimiento

N	mm	S
616,65	0,02	10,00
877,54	0,82	15,00
1162,15	1,18	20,00
1375,61	1,52	25,00
1589,07	1,84	30,00
1755,09	2,16	35,00
2015,98	2,45	40,00
2229,44	2,73	45,00
2466,61	2,99	50,00
2680,07	3,26	55,00
2917,24	3,51	60,00
3201,85	3,76	65,00
3344,16	3,99	70,00
3533,90	4,22	75,00
3676,20	4,42	80,00
3865,94	4,63	85,00
4079,40	5,02	90,00
4387,72	5,39	95,00
4719,77	5,89	100,00
5051,81	6,33	105,00
5336,42	6,75	110,00
5881,92	7,55	115,00
6213,96	7,99	120,00
6546,01	8,48	125,00
6783,18	8,99	130,00
7067,79	9,50	135,00
7186,38	10,00	140,00
7352,40	10,51	145,00
7470,99	11,03	150,00
7589,57	12,10	155,00
7660,73	12,64	160,00
7731,32	13,20	165,00
7802,47	13,76	170,00
7826,18	14,33	175,00
7849,90	14,91	180,00

7826,18	15,48	185,00
7802,47	16,05	190,00
7778,75	16,64	195,00
7731,32	17,23	200,00
7707,60	17,83	205,00
7636,46	18,44	210,00
7612,74	19,06	215,00
7565,31	19,67	220,00
7541,59	20,30	225,00
7517,88	20,92	230,00
7446,73	21,55	235,00
7375,58	22,18	240,00
7328,15	23,42	245,00
7304,44	24,04	250,00
7280,72	24,67	255,00
7185,86	26,55	260,00

Tabla B:2 Probeta recubierta con pintura

N	mm	s
1158,57	0,00	5,00
1975,28	0,33	10,00
3129,64	1,07	15,00
3722,37	1,74	20,00
4399,29	2,12	25,00
4906,97	2,31	30,00
5343,53	2,50	35,00
5841,43	3,10	40,00
6197,07	3,47	45,00
6410,45	3,76	50,00
6718,67	4,11	55,00
6955,77	4,48	60,00
7145,44	4,87	65,00
7382,54	5,26	70,00
7501,08	5,63	75,00
7761,89	6,20	80,00
7951,56	6,90	85,00
8070,11	7,62	90,00
8164,95	8,34	95,00
8283,49	9,07	100,00
8307,20	9,81	105,00

8402,04	10,54	110,00
8354,62	11,28	115,00
8330,91	12,05	120,00
8330,91	12,87	125,00
8259,78	13,68	130,00
8259,78	14,46	135,00
8212,37	15,25	140,00
8117,53	16,03	145,00
8070,11	16,82	150,00
7998,98	17,61	155,00
7927,85	18,39	160,00
7880,43	19,16	165,00
7880,43	19,92	170,00
7856,72	20,69	175,00
7761,89	21,47	180,00
7761,89	22,25	185,00
7714,47	23,04	190,00
7738,18	23,82	195,00

Tabla B:3 probeta recubierta con bate piedra

N	mm	s
0,00	0,00	0,00
1697,77	0,00	5,00
2695,60	0,47	10,00
3833,48	1,78	15,00
4758,02	3,11	20,00
5404,11	3,86	25,00
5962,97	4,30	30,00
6516,14	4,75	35,00
6805,79	5,19	40,00
6948,02	5,65	45,00
7113,96	6,10	50,00
7431,97	6,56	55,00
7574,20	7,05	60,00
7803,61	7,56	65,00
7874,73	8,08	70,00
8222,14	8,58	75,00
8445,85	9,12	80,00
8569,55	9,62	85,00
8804,26	10,12	90,00

8804,26	10,62	95,00
8780,55	11,13	100,00
8780,55	11,64	105,00
8756,85	12,17	110,00
8733,14	12,70	115,00
8709,43	13,23	120,00
8527,32	13,76	125,00
8351,02	14,30	130,00
8327,32	14,84	135,00
8279,90	15,38	140,00
8061,37	15,93	145,00
8061,37	16,47	150,00
7990,26	17,02	155,00
7743,37	17,56	160,00

**Anexo C: Tabla de datos de la máquina universal de EPN para realizar el
diagrama esfuerzo deformación a 14 días sumergidas en salmuera.**

Tabla C:1 Probeta sin recubrimiento

N	mm	s
0,00	0,00	0,02
791,15	0,86	5,00
1708,89	2,17	10,00
3014,30	3,33	15,00
4082,36	4,19	20,00
4889,34	4,85	25,00
5506,44	5,39	30,00
6194,74	6,02	35,00
6788,11	6,73	40,00
7239,06	7,53	45,00
7500,14	8,42	50,00
7666,29	9,29	55,00
7761,23	10,22	60,00
7713,76	11,19	65,00
7595,08	12,18	70,00
7500,14	13,18	75,00
7381,47	14,25	80,00
7191,59	15,34	85,00
6954,25	16,51	90,00
6639,37	17,75	95,00
5886,19	19,05	100,00
4717,85	19,04	105,00

Tabla C:2 Probeta recubierta con pintura

N	mm	S
0,00	0,00	0,00
785,58	0,02	5,00
1397,87	0,03	10,00
2183,07	0,88	15,00
3151,14	2,16	20,00
4122,55	3,52	25,00
4738,56	4,80	30,00
5283,49	6,10	35,00
5828,43	7,34	40,00
6349,67	8,56	45,00
6918,29	9,52	50,00
7273,69	10,34	55,00
7558,00	11,15	60,72
7794,93	12,01	65,47
7984,47	12,79	70,31
8102,93	13,65	75,67
8174,01	14,54	80,00
8174,01	15,48	85,39
8197,71	16,33	90,16
8150,32	17,26	95,27
8102,93	18,15	100,02
8055,55	19,07	105,00
8008,16	19,91	110,05
7937,08	20,85	115,00
7889,70	21,80	120,53
7818,62	22,71	125,72
7771,23	23,70	130,53
7723,85	24,62	135,05
7676,46	25,61	140,05
7486,92	25,64	145,00

Tabla C:3 probeta recubierta con bate piedra

N	mm	s
0,00	0,00	5,00
793,47	0,01	10,00
1715,73	1,19	15,00
2842,86	2,85	20,00
4027,39	4,48	25,00
4809,17	6,12	30,00
5472,51	7,71	35,00
5875,24	9,30	40,00
6585,96	10,61	45,00
7272,98	11,84	50,00
7817,87	12,93	55,00
8125,84	13,92	60,72
8386,44	14,91	65,47
8552,27	15,95	70,31
8670,72	17,01	75,67
8694,41	18,14	80,00
8694,41	19,21	85,39
8670,72	20,33	90,16
8575,96	21,47	95,27
8504,89	22,77	100,02
8433,82	23,96	105,00
8149,53	24,46	110,05

**Anexo D: Tabla de datos de la máquina universal de la EPN para realizar el
diagrama esfuerzo deformación a 21 días sumergidas en salmuera.**

Tabla D:1 Probeta sin recubrimiento

N	mm	s
0,00	0,00	0,00
491,26	0,02	5,00
1087,11	0,46	10,00
1674,52	1,85	15,00
2305,11	3,29	20,00
3198,91	4,66	25,00
3980,87	6,03	30,00
4762,83	7,45	35,00
5189,35	8,94	40,00
5781,74	10,33	45,00
6303,04	11,62	50,00
6776,96	12,69	55,00
7037,61	13,70	60,00
7345,65	14,77	65,00
7535,22	15,78	70,00
7653,70	16,62	75,00
7701,09	17,59	80,00
7701,09	18,69	85,00
7677,39	19,58	90,00
7630,00	20,62	95,00
7511,52	21,69	100,00
7393,04	22,74	105,00
7227,17	23,93	110,00
7037,61	25,19	115,00
6942,83	26,26	120,00
6824,35	27,45	125,00
6753,26	28,69	130,00
6658,48	29,99	135,05
6587,39	31,08	140,05
6540,00	32,43	145,00
6326,74	32,54	150,00

Tabla D:2 Probeta recubierta con pintura

N	mm	s
0,00	0,00	0,01
521,91	0,62	5,00
782,86	0,93	10,00
1020,10	1,24	15,00
1209,88	1,55	20,00
1636,90	1,98	25,00
1897,85	2,41	30,00
2372,32	2,82	35,00
2656,99	3,21	40,00
3344,72	3,86	45,00
3487,05	4,15	50,00
3985,20	4,42	55,00
4483,35	4,91	60,00
4673,12	5,10	65,00
4815,45	5,28	70,00
4839,17	5,46	75,00
5218,72	5,68	80,00
5455,93	6,04	85,00
5550,82	6,23	90,00
6001,52	6,45	95,00
6238,74	6,69	100,00
6475,95	7,28	105,00
6689,44	7,71	110,00
6997,82	8,27	115,00
7163,87	8,81	120,00
7211,32	9,35	125,00
7495,97	9,90	130,00
7567,14	11,06	135,00
7685,74	11,69	140,00
7709,47	12,89	145,00
7519,69	13,65	150,00
7306,20	14,54	155,00
7187,59	15,53	160,00
6926,66	16,55	165,00
6632,36	17,52	170,00
5954,08	17,83	175,00
5439,86	17,85	180,00

Tabla D:3 probeta recubierta con bate piedra

N	mm	s
0,00	0,00	0,01
1386,19	0,00	5,00
2371,46	0,49	10,00
3628,33	1,58	15,00
4648,05	2,39	20,00
5406,92	2,89	25,00
5999,78	3,33	30,00
6734,93	3,84	35,00
7256,65	4,48	40,00
7636,09	5,19	45,00
7825,80	5,96	50,00
8039,23	6,79	55,00
8181,52	7,70	60,00
8300,09	8,59	65,00
8300,09	9,50	70,00
8300,09	10,43	75,00
8300,09	11,33	80,00
8181,52	12,28	85,00
8062,95	13,29	90,00
7825,80	14,54	95,00
7446,37	15,23	100,00
7163,50	15,24	105,00
6774,34	15,24	110,00

**Anexo E: Certificado de los ensayos realizados en el CENTRO DE LA
INVESTIGACIÓN DE LA VIVIENDA.**

	
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA VIVIENDA <small>Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental</small>	
 CERTIFICADO 	
Quito, 21 de Septiembre del 2017	
<p>El Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional, certifica que los Sres. Almache Edwin y Cantuña David, estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana, realizaron los ensayos de flexión en perfiles tipo G 100X50X15X2 en el laboratorio de estructuras, con el propósito de realizar una investigación de tesis de pregrado con título "ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA CORROSIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PERFIL G 100X50X15X2 PARA CORREAS DE TECHOS".</p> <p>Los ensayos se realizaron en las fechas del 14, 18, 26 y 31 de julio.</p> <p>Esto es cuanto se puede informar, los antes mencionados pueden utilizar el documento para los fines pertinentes.</p>	
<p>Atentamente,</p> <div style="display: flex; align-items: center;"><div style="flex: 1;"><p>Ing. Christian M. Gómez Coordinador del Centro de Investigación de la Vivienda EPN 022976300 Ext. 1952 0984898867</p></div><div style="flex: 1; text-align: center;"></div></div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"></div>	
 	
Ladrón de Guevara E11-253	Teléfono : 022 976- 300 Ext 1952
Quito - Ecuador	